

**MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

**KERESZTMETSZETI KÉPALKOTÓ ELJÁRÁSOK (CT, MRI)  
ÁLLATTENYÉSZTÉSI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI**

**DR. ROMVÁRI RÓBERT**  
**PhD, mezőgazdaság tudomány**

**KAPOSVÁRI EGYETEM ÁLLATTUDOMÁNYI KAR**  
**KAPOSVÁR**

**2005**

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés</b>	5
1.1. Előzmények	5
1.2. A kutatások célja	5
<b>2. Irodalmi áttekintés</b>	7
2.1. A testösszetétel meghatározásának lehetőségei	7
2.2. A vizsgálatok során alkalmazott keresztmetszeti képalkotó eljárások és jelentőségük	7
2.3. Állattenyésztési célú CT és MRI vizsgálatok	8
2.3.1. Sertés	8
2.3.2. Kérődzők	10
2.3.3. Baromfi fajok	12
2.3.4. Halfajok	13
2.3.5. Húsnyúl	14
2.4. A hústermelésre irányuló szelekció általános hatásai	17
<b>3. Anyag és Módszer</b>	20
3.1. Kísérleti állatok, tartási körülmények, vizsgálati időpontok	20
3.1.1. Húsnyúl	20
3.1.2. Brojlercsirke	20
3.1.3. Tojóttyúk	20
3.1.4. Pulyka	21
3.1.5. Lúd	21
3.1.6. Sertés	21
3.1.7. Juh	22
3.1.8. Halfajok	22
3.2. Képalkotó vizsgálatok	22
3.2.1. CT vizsgálatok	22
3.2.1.1. Vizsgálatra történő előkészítés	23
3.2.1.2. Felvételezés	23
3.2.1.3. Képfeldolgozás	24
3.2.2. MRI vizsgálatok	25
3.2.2.1. Vizsgálatra történő előkészítés	25
3.2.2.2. Felvételezés	25
3.2.2.3. Képfeldolgozás	26
3.3. Próbavágás	27
3.4. Kémiai analízis	27
3.5. Alkalmazott biometriai módszerek	27

<b>4. Eredmények és értékelésük</b>	29
<b>4.1. Testösszetétel <i>in vivo</i> meghatározása CT-vel</b>	29
<b>4.1.1. Teljestest szöveti összetételének (izom-zsír) vizsgálata</b>	29
<b>4.1.1.1. Szöveti eloszlás vizsgálata 3D hisztogramokkal</b>	29
<b>4.1.1.1.1. Testösszetétel változás anyanyulakban a vemhesség alatt</b>	29
<b>4.1.1.1.2. Brojlercsirke testösszetételének vizsgálata a növekedés során</b>	31
<b>4.1.1.1.3. BUT Big 6 és bronzpulyka összehasonlító vizsgálata</b>	35
<b>4.1.1.1.4. Vedletés hatásának felmérése tojótyúkban</b>	37
<b>4.1.1.1.5. Az intenzív hústípusú és a mangalica sertés összehasonlítása</b>	40
<b>4.1.2. Teljestest kémiai összetételének (nyerszsír, nyersfehérje) becslése</b>	44
<b>4.1.2.1. HU index alkalmazási lehetőségei</b>	44
<b>4.1.2.1.1. Húsnyúl</b>	44
<b>4.1.2.1.2. Brojlercsirke</b>	46
<b>4.1.2.1.3. Pulyka (BUT és bronzpulyka)</b>	48
<b>4.1.2.1.4. Haltest</b>	49
<b>4.1.2.2. HU változókon alapuló becslési eljárások</b>	50
<b>4.1.2.2.1. Húsnyúl</b>	51
<b>4.1.2.2.2. Brojlercsirke</b>	54
<b>4.1.2.2.3. Haltest</b>	56
<b>4.1.3. Morfológiai viszonyok vizsgálata 3D rekonstrukciókkal</b>	59
<b>4.1.3.1. Baromfifélék mellizomzatának alakulása</b>	59
<b>4.1.3.2. Hízott libamáj kialakulása</b>	62
<b>4.1.4. Libamáj zsírtartalmának mérése</b>	63
<b>4.2. Testösszetétel <i>in vivo</i> meghatározása MRI-vel</b>	67
<b>4.2.1. Húsnyúl</b>	67
<b>4.2.2. Brojlercsirke</b>	68
<b>4.3. Sertés karkaszok vizsgálata referenciamódszer kidolgozására</b>	70
<b>4.3.1. CT vizsgálat</b>	70
<b>4.3.1.1. Kalibráció</b>	70
<b>4.3.1.1.1. Anatómiai pontokon készített felvételek</b>	70
<b>4.3.1.1.2. Közvetlen térfogatos módszer</b>	71
<b>4.3.1.1.3. Test- és denzitás intervallumok alkalmazása</b>	72
<b>4.3.1.1.4. PLS regresszió használata</b>	74
<b>4.3.1.2. A színhústartalom becslése</b>	74
<b>4.3.2. MRI vizsgálat</b>	75
<b>4.4. Szívteljesítmény mérése MRI-vel</b>	77
<b>4.4.1. Pulyka</b>	78
<b>4.4.2. Juh</b>	80
<b>4.4.3. A szívteljesítmény és a vázizomzat térfogat összefüggése</b>	81
<b>4.4.3.1. Pulyka</b>	81
<b>4.4.3.2. Juh</b>	83

<b>4.5.</b>	<b>A keresztmetszeti képalkotó eljárások szelekciós célú alkalmazása sertésen</b>	85
<b>4.5.1.</b>	A bacon rész szöveti összetétele	85
<b>4.5.2.</b>	A szívteljesítmény és a bacon jelleg javítására irányuló szelekció	88
<b>4.5.2.1.</b>	A szülői populáció jellemzése	88
<b>4.5.2.2.</b>	Az első utódgeneráció jellemzése	91
<b>5.</b>	<b>Összefoglalás</b>	94
<b>6.</b>	<b>Új tudományos eredmények</b>	96
<b>7.</b>	<b>A gyakorlatban hasznosítható eredmények</b>	97
<b>8.</b>	<b>Irodalomjegyzék</b>	98
<b>9.</b>	<b>Köszönetnyilvánítás</b>	108

## 1. BEVEZETÉS

Az állattenyésztőknek régi törekvése a tenyészállat-jelöltek testösszetételének nem invazív, *in vivo* módon történő megállapítása, ezzel a szelekciós döntések megbízhatóságának jelentős növelése. Közel fél évszázada ismert és azóta vizsgálatok sorozatában igazolódott, hogy a testösszetétel fő komponensei viszonylag jól öröklődnek, így a sajátjeljesítmény-vizsgálat (*in vivo* testösszetétel meghatározás) a szelekció hatékonysága szempontjából kiemelt fontosságú.

A teljes test összetétel meghatározásával kapcsolatos kutatásoknak közel másfél évszázados múltjuk van, melyek során számos eljárást kipróbáltak, igen változó eredménnyel. A 80-as évek elején a computer tomográfias berendezések (CT) megjelenése, majd ugyanennek az évtizednek a közepén a mágneses rezonancián alapuló képalkotás (MRI) használata minőségi változást eredményezett az *in vivo*, nem-invazív orvosi diagnosztikában. A kitűnő felbontás és az eltérő szövetípusok pontos azonosítása ezen vizsgálati eljárások rendkívül gyors elterjedését eredményezték.

A modern digitális képalkotó berendezések és a nagy teljesítményű számítógépek együttese új távlatokat nyitott a gazdasági haszonállatok nemesítési célú *in vivo* vizsgálatában. Az első állattenyésztési célú CT felvételezésre 1981-ben került sor a Norvég Agrártudományi Egyetemen, amit 1984-ben követett az MRI alkalmazása az aberdeeni Rowett Intézetben. A 80-as évek végétől a keresztmetszeti képalkotás, ezen belül elsősorban a CT állattudományi elfogadottsága folyamatosan nőtt. Vitathatatlan előnyei mellett szélesebb körű alkalmazását sokáig gátolta, hogy viszonylag alacsony volt azon kutató helyek, illetve tenyésztő vállalatok száma, melyek a megfelelő infrastruktúrával rendelkeztek. Ebből a szempontból kiemelt helyzetben volt a Kaposvári Egyetem Állattudományi Kara, melynek jogelődjén a PATE Állattenyésztési Karán 1990 elején megkezdte működését a CT Biológiai Központ.

### 1.1. Előzmények

Kísérletes munkám során 1991 végén kapcsolódtam az állattenyésztési célú CT vizsgálatokhoz. Az első négy év kísérleteit 1995-ben lezártam, majd a következő évben eredményeimet "A komputer tomográfia lehetőségei a húsnyúl és brojlercsirke testösszetételének és vágóértékének *in vivo* becslésében" című Ph.D. értekezésemben foglaltam össze. Akkori vizsgálataim jellemzően metodikai célúak voltak és a rendelkezésre álló Siemens Somatom DRG tomográf használatán alapultak. A kutatóhely technikai feltételeinek intenzív fejlesztését követően, a 90-es évek közepétől a CT felvételezések már spirál tomográfokon történtek, továbbá az évtized második felében az MRI állattenyésztési célú felhasználása is gyakorlattá vált. Az új berendezések, valamint az ehhez kapcsolódó felvételezési, adatfeldolgozási idő folyamatos csökkenése a vizsgálati létszámok jelentős növekedését eredményezte.

## 1.2. A kutatások célja

Az értekezés tárgyához kapcsolódó vizsgálatok során a következő célokat kívántam megvalósítani.

- Hosszútávú, a színhústartalom emelésére irányuló szelekció testösszetételre gyakorolt hatásainak elemzése pulykán (bronzpulyka-BUT hibrid) és sertésen (mangalica-intenzív hússertés).
- Rövidtávú, de intenzív testösszetétel változással járó folyamatok (nyúl vemhesség, tojótyúk vedletés) *in vivo* jellemzése CT képalkotással.
- Eltérő módszerek kidolgozása nyulak, brojlercsirkék, pulykák és különböző halfajok testösszetételének, valamint a libamáj kémiai-összetételének *in vivo* becslésére.
- CT vizsgálatokon alapuló referenciamódszer kidolgozása sertés karkaszok színhústartalmának meghatározására.
- A szívteljesítmény és a vázizomtérfogat összefüggésének vizsgálata pulykán, juhon és sertésen *in vivo* CT és MR felvételezés együttes alkalmazásával.
- Keresztmetszeti képalkotáson alapuló szelekciós módszer kidolgozása sertésen a bacon jelleg és a szívteljesítmény javítása érdekében.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A disszertáció kísérletes részének központi eleme az *in vivo* CT és MRI vizsgálati módszer állattenyésztési célú alkalmazása. Ennek megfelelően elsősorban a képalkotó eljárásokra vonatkozó irodalom feldolgozására koncentráltam. Ezen túlmenően röviden összefoglalom a színhústartalom növelésére irányuló szelekció általános következményeit, tekintettel arra, hogy vizsgálataim egyik célja a keresztmetszeti képalkotás ilyen irányú felhasználása. Végül a konkrét vizsgálatokhoz kapcsolódva néhány kiemelt közleménnyel kívánom az adott terület ismereteit jellemezni, az „Eredmények és értékelésük” rész vonatkozó fejezeteiben.

### 2.1. A testösszetétel meghatározásának lehetőségei

A teljestest összetételének meghatározásával kapcsolatos kutatások több, mint egy évszázados múltra tekintenek vissza (von Bezold, 1857). A lehetséges eljárások alapvetően két csoportra oszthatók (Speakman, 2001). A standardnak tekinthető roncsoláson alapuló közvetlen kémiai analízis az ún. nem destruktív módszerek kalibrálására is szolgál. Utóbbi eljárások közül az első közelítésnek a test morfológiai indikátorain alapuló módszerek tekinthetők. Az állat külső méretei, testsúlya, testfelszíne, az ezekből képezhető kondíció index értékekből következtethetünk az egyed általános egészségi-, tápláltsági állapotára, vagy éppen a test zsírtartalmára (Pearson, 1897)). A modern műszeres eljárások közül kiemelésre érdemesek az izotóp higitásos módszerek, melyeket a 30-as években kezdtek fejleszteni a testzsírtartalom meghatározására (Hevessy és von Hofer, 1934). A módszerek egy másik köre zsíroldékony gázok eliminálásán és abszorpcióján alapul (Lesser és mtsai, 1952). A bioimpedancia analízises (BIA) eljárásokat az utóbbi időben egyre többen használják alapanyagcsere vizsgálatokban (Thomasset, 1962). Az ultrahangos készülékek (UH) a hatvanas évek végére váltak alkalmassá a bőr alatti zsírrétegek vastagságának és bizonyos szervek méretének meghatározására (Ischler és Swieger, 1968). Napjainkban széles körben elterjedt az ún. TOBEC módszer, amely a teljestest mágneses tér hatására bekövetkező elektromos vezetőképességének változásait méri (Van Loan és Mayclim, 1987). Állattudományi szempontból igen perspektivikus a „dual energy X-ray absorptiometry” (DEXA) módszer, melynek főbb felhasználási lehetőségeit Grier és mtsai (1996) foglalták össze. A modern képalkotó eljárások közül a computer tomográfia (CT) és a mágneses rezonanciás képalkotás (MRI) lehetőségeivel részletesen a következő fejezetekben foglalkozom.

### 2.2. A vizsgálatok során alkalmazott keresztmetszeti képalkotó eljárások és jelentőségük

A computer tomográfia gyakorlati alkalmazásának kidolgozása Hounsfield és Cormack nevéhez fűződik, akik ezért 1979-ben Nobel díjat kaptak (Hounsfield, 1980, Cormack, 1980). A 80-as évek elején a CT berendezések megjelenése minőségi változást eredményezett az *in vivo*, nem-invazív orvosi diagnosztikában a keresztmetszeti számítógépes képalkotás révén. A kitűnő felbontás és szöveti jellegzetességek feltárása a vizsgálati eljárás rendkívül gyors elterjedését eredményezte. Az évtized végétől a számítástechnikai fejlődés a tomográfok teljesítményében és sebességében látványos javulást tett lehetővé.

A mágneses rezonancia jelenségét egymástól függetlenül két munkacsoport, Bloch által vezetett Stanford-i és Purcell által irányított Harvard egyetemi írta le 1946-ban, amiért 1952-ben mindketten Nobel-díjat kaptak (Bloch és mtsai, 1946; Purcell és mtsai, 1946). Kezdetben főleg a spektroszkópia területére szorítkoztak a kutatások, mindaddig, amíg Damadian (1971) felismerte, hogy az egészséges és a daganatos szövetek T1 és T2 relaxációs ideje egymástól eltérő. A fejlődés ettől fogva jelentősen felgyorsult, és a 80-as évek végétől minden korábbi eljárásnál nagyobb hatást gyakorolt az MRI használata a modern orvosi képalkotásra. A

módszer egyik változata EKG vezérelt szív MR képalkotás, amely a szív funkcionális vizsgálatának egyik legfejlettebb eljárása.

Állattenyésztési szempontból a két képalkotó tomográfiás eljárás közös előnye az *in vivo*, nem invazív vizsgálatok lehetősége. Ennek megfelelően az egyes állatok testösszetétele, vágóértéke közvetlen módon becsülhető, ami minőségi változást jelent a szelekcióban. Az eljárás egyrészt pontosabb az ivadékvizsgálatnál, másrészt a tenyészállat jelöltek kiválasztásával a generációs intervallum rövidül, a szelekciós előrehaladás gyorsul. Miután ugyanazon állat ismételttomográfia vihető, az eljárás lehetőséget nyújt a növekedés, a vemhesség, illetve a szoptatás alatti, vagy eltérő takarmányozás hatására bekövetkező testösszetétel változások folyamatos követésére is.

## 2.3. Állattenyésztési célú CT és MRI vizsgálatok

Következőkben állatfajonként foglalom össze az állattenyésztési szempontból jelentősnek tartott eredményeket. A külföldi és a hazai vizsgálatokat elkülönítetten mutatom be, ezzel is hangsúlyozva a kaposvári kutatóhely kiemelt szerepét. A hivatkozott hazai eredmények közül a húsnyúlra vonatkozókat részletesebben ismertetem, tekintettel arra, hogy módszertani szempontból ezek disszertációm közvetlen előzményének tekinthetők.

Állattenyésztési célú CT vizsgálatra először 1981-ben került sor a Norvég Agrártudományi Egyetemen (Skjervold, 1981). Az MRI állattenyésztési alkalmazását az aberdeeni Rowett Intézetben kezdték Fuller és mtsai. (1984).

A Kaposvári Diagnosztikai Intézet Horn Péter akadémikus „Eljárás állatok, főleg sertések továbbtenyésztéséhez való kiválogatására” (1986) c. eljárási szabadalmára épülő, a Világbankhoz 1986-ban benyújtott - és kiemelt támogatásban részesített – kutatásfejlesztési pályázatának alapján létesült, kezdetben a MÉM, az MTA és az OMFB jelentős kiegészítő támogatásával (Horn, 1991a,b). Az 1990-ben megépült különleges infrastruktúrájú Központ azóta nagymértékben bővített tomográf parkjával (3 CT rendszer, egy hagyományos és egy ún. nyitott MR tomográf) az egyetem olyan komplex létesítménye, ahol orvosi és állattudományi (továbbá geológiai és talajtani) szolgáltatások és kísérleti programok folynak rutinszerűen, sokoldalúan használva a rendelkezésre álló nagyértékű kereszteszeti képalkotó berendezéseket. A folyamatos fejlesztésben több főhatóság (OM, FVM, EÜM, PM) és több vállalat (pl. MOL, GE, Siemens) is kommerciális támogatást biztosított.

### 2.3.1. Sertés

Skjervold és mtsai (1981) a vizsgált sertésekről meghatározott anatómiai pontokon készítettek felvételeket. Ezt követően ezek metszési síkjában 1-1 cm széles szeleteket vágtak ki, majd azok teljes kémiai analízise során meghatározták a víz-, fehérje- és zsírtartalmat, illetve kiszámították az energiatartalmat. Az adott szeletre vonatkoztatva az  $R^2$  értékek sorrendben a következők voltak: 0.85, 0.80, 0.89, 0.85.

Sertéseken végzett korai CT vizsgálatokról Vangen (1992a) adott összefoglalást. Ebben a tomográfiás eljárás leírásán túlmenően ismerteti az eltérő képfeldolgozási lehetőségeket, összehasonlítva az ún. norvég, illetve ausztrál iskola módszerét. A norvég közelítésre adnak példát a karkasz összetételének *in vivo* meghatározása érdekében Allen és Vangen (1984), Vangen (1984) és Vangen és mtsai (1984) által végzett vizsgálatok. Szerzők 11 jól azonosítható anatómiai ponton készítettek felvételeket a 9. hátcsigolyától a combcsont nyaki végéig. A CT-felvételek elkészülte után a vegyes ivarú sertéseket levágták. A képfeldolgozás során felvett gyakorisági értékeknek, valamint az élőtömegnek és az ivarnak, mint független



változóknak segítségével a zsír és az energia esetében 0.98-as, a fehérjénél pedig 0.93-as  $R^2$  értéket kaptak MGLH stepwise analízissel. A Vangen és mtsai (1984) által közölt becslő egyenleteket Storlien és Sehested (1992) a későbbiekben tesztelte. A korábban felállított egyenletek használatával - független mintán - lényegesen alacsonyabb regressziós koefficiens értékeket kaptak. A becslések pontossága nem érte el még az ultrahangos vizsgálatokét sem. Ezt egyrészt az egyenletekbe bevont, viszonylag alacsony számú CT-változóval és azok egymással való szoros kapcsolódásával, másrészt az egyenletek nagyfokú érzékenységevel magyarázták és más biometria módszerek alkalmazását javasolták. Luiting és mtsai (1992) új megközelítéssel próbálkoztak, duroc és norvég lapály sertés létfenntartó táplálóanyag szükségleti értékének vizsgálatakor. Statisztikai feldolgozásuk során a gyakoriságeloszlási görbét matematikai módszerekkel három normál eloszlású összetevőre bontották, így a zsír, a víz és a fehérje esetében három egyedi görbét kaptak. Utóbbiak egymáshoz viszonyított arányát, az eloszlások átlag- és szórás értékeit maximum likelihood módszerrel becsülték, melynek eredményeképpen a duroc létfenntartó táplálóanyag igényét találták alacsonyabbnak. Későbbi vizsgálataikban (Luiting és mtsai, 1995), hasonló képfeldolgozásra alapozva megállapították, hogy 65 kg-os élősúlyban a lapály sertések zsírszövetének denzitása meghaladta a durocét, jelezve ezzel az *intermuscularis* zsírtartalom különbözőségét.

Más megközelítést választottak az ausztrál kutatók, akik fix anatómiai pontok helyett egymástól 30-50 mm távolságra lévő sorozatképekkel dolgoztak. A teljes állatról 20-30 felvételt készítettek, majd CATMAN nevű programjukkal értékelték azokat (Thompson és Kinghorn, 1992). Az eljárás lényege a kétdimenziós CT-felvételek háromdimenziós adattá alakítása, amely a testösszetevők térfogatos becslését teszi lehetővé. A két - norvég és ausztrál - értékelési mód célja eltérő. Amíg az előbbi nagy becslési pontosságra törekszik, ezzel párhuzamosan viszonylag szűk értelmezési tartományban (adott genotípusra, meghatározott tömeg intervallumra) használható, addig az utóbbi a növekedés, vagy a takarmányozás testösszetételre gyakorolt hatásainak követésére alkalmas.

Az ún. norvég módszer eredményeit foglalta össze Kolstad (1996) PhD értekezésében. Vizsgálatainak középpontjában a létfenntartó takarmányon tartott Norvég lapály és Duroc sertések ivar-függő zsír eloszlásának és mobilitásának vizsgálata állt. Összehasonlító CT vizsgálataiban megadta az *inter/intramuscularis* zsír arányának, valamint a *subcutan* zsír mennyiségének változását a hizlalás során (Kolstad és mtsai, 1996). Módszertanilag hasonló módon vizsgálták az energia megoszlás genetikai eltéréseit ismételt CT felvételezéssel (Kolstad és mtsai, 2002). A létfenntartó szükséglet felett adott metabolizálható energia (ME) eloszlását vizsgálva megállapították, hogy a takarmány okozta hőtermeléshez képest a genetikailag zsíros állománynak volt a legnagyobb netto energia retenciója. Ebből a szempontból a duroc köztes állapotot mutat, míg a lapály a legalacsonyabb netto energia retencióval jellemezhető. Alternatív megoldásként a DEXA, mint igen perspektivikus módszer lehetőségeit Mitchell és mtsai (2002) mutatták be.

Korlátozott mértékben, de az MRI technikát is alkalmazzák sertések testösszetételének becslésére. Hasonlóan Skjervold (1981) korai vizsgálataihoz, Fowler és mtsai (1992) sertésen validálták az MRI alkalmazhatóságát a zsírszövet mennyiségének meghatározására szélsőségesen eltérő zsírtartalmú egyedeken. Állatonként 13 transzaxiális síkú felvétel készült, majd a metszési síkokból vágott szeletekből meghatározták a színhús mennyiségét, illetve lipid tartalmát. Németországban a mariensee-i intézetben Baulain és munkacsoportja kezdett hasonló vizsgálatokat (Kallweit és mtsai, 1994; Baulain és mtsai, 1996; Baulain, 1997). Az elért becslési pontosság a zsír és izomszövet mennyiségének *in vivo* meghatározásában jó egyezést mutat a - későbbiekben bemutatott - kaposvári vizsgálatok eredményeivel. Az *in vivo* CT és MRI vizsgálatok lehetőségeit Szabó és mtsai (1999) foglalták össze, sertésen.

Az élő sertések vizsgálata mellett természetesen a karkasz színhústartalmának mérésére is kipróbálták a CT módszert. Sehested és Vangen (1988) korai vizsgálataik alapján a CT-t alkalmasnak tartják ultrahangos és egyéb karkasz minősítő műszerek kalibrálására. A sertés karkaszok minősítésével kapcsolatban először Jones (1995) vetette fel az MRI technika alkalmazhatóságát.

### *Kaposvári vizsgálatok*

Kaposváron 1990 végétől folynak intenzív sertésvizsgálatok. Az első eredményekről Kövér és mtsai (1993) számoltak be, akik ivadék teljesítmény vizsgálati (ITV) vágást közvetlenül megelőzve tomografáltak lapály típusú sertéseket. A spirál tomográfia felhasználásának lehetőségeit sertéseken Horn és mtsai (1997) vizsgálták. KA-HYB hibrideken végzett vizsgálataik során először élő állapotban, majd a 4 °C-ra hűtött karkaszokon is meghatározták a szöveti összetételt. Utóbbi esetben az  $R^2$  értékek 0.93-0.95-nek adódtak, melyek 0.2-0.3-al meghaladták az élő állapotban mértéket. Szabó (2001) takarmányozási aspektusból közelítette a CT felhasználási lehetőségeit. A takarmány eltérő ileálisan emészthető lizin/emészthető energia arányának hatását vizsgálta a testösszetételre részben élő állatokon, részben féltesteken. Metodikai jellegű vizsgálatai során megállapította, hogy minden ötödik spirál CT felvétel (50 mm-es lépésköz) elegendő a szöveti térfogatok kielégítő becsléséhez.

Határterületként kiemelésre érdemesek Zomborszky és mtsai (2000) eredményei a fumonisin B1 toxin okozta tüdőelváltozások CT vizsgálaton alapuló számszerűsítésében. Hasonló képfeldolgozási módszertant alkalmaztak Magyar és mtsai (2003) kísérletesen előidézett torzító orrgyulladás okozta elváltozások vizsgálatában.

### **2.3.2. Kérdések**

Az első vizsgálatokat suffolk juhokon Simm és mtsai (1985) végezték, a 12-13. borda és a 3. ágyékcsigolya síkjában. A *subcutan* zsír vastagságát és az izom területét eltérő típusú ultrahangos berendezésekkel, illetve CT-vel mérték. A kedvező eredményekre alapozva, a tomográfia a juh nemesítési programokba való használhatóságára hívja fel a figyelmet Simm (1987), aki a módszert második lépcsőben, ultrahangos mérések után javasolja alkalmazni.

A norvég munkacsoport a sertésekkel folytatott eredményes kísérletek tapasztalatai alapján juhokon is megkezdte vizsgálatait. Ezek eredményeit foglalta össze PhD értekezésében Sehested (1986), aki meghatározott anatómiai síkokban (11. és 13. háti-, 2., 4. és 6. ágyéki csigolya, a medence közepe, a combcsont feje és a medencenyúlvány *caudalis* vége) készített felvételeket. A már ismertetett eljárással (Vangen és mtsai, 1984) a gyakorisági értékekből változókat képeztek. Továbbiakban eltérő módszerekkel (MGLH, főkomponens-analízis, kanonikus-korreláció) többféle becslő egyenletet dolgoztak ki. Véleményük szerint az MGLH stepwise regresszió kevésbé alkalmas módszer, ami elsősorban a változók közötti kollinearitásnak, illetve annak köszönhető, hogy az egyenletek a rendelkezésre álló változóknak csak kis részét használják. Az említett szerző eredményeit Vangen (1988) megállapításaival összevetve a juh esetében kapott gyengébb összefüggések két okkal magyarázhatók. Egyrészt a sertés sokkal zsírosabb és a zsírszövet is jobban azonosítható a felvételeken, másrészt a kiemelt anatómiai síkokban a pixelek nagyobb aránya hordoz hasznos információt (belső szervek elhelyezkedése, kiterjedése). A norvég és az ausztrál kutatócsoport közös munkájaként *subcutan* zsírtartalomra kétirányba (+,-) szelektált juhokban mérték CATMAN eljárással (Vangen és Thompson, 1992) a *subcutan*, az *intra-* és *intermuscularis* szövetek mennyiségi változásait.

Az első CT-n alapuló szelekció eredményeit bemutató közlemények ausztrál és új-zélandi munkacsoportoktól származnak, jelezve a képalkotó vizsgálatok kiemelt szerepét ezen két ország juhnevelésében. Jopson és mtsai (1997) részletes, igen nagy állatlétszámon (1400 anyából álló nukleusz állományból származó kosokkal termékenyített több, mint 100.000 anya utódain) alapuló ökonómiai vizsgálatot követően kétlépcsős szelekciós modellt dolgoztak ki, felhasználva Simm (1987) korábbi eredményeit. A „Newstage” analízisen alapuló közelítés szerint mindkét ivar UH vizsgálata mellett a kosok legjobb 13 %-nak CT felvételezése jelenti az optimális megoldást. A módszer három év után már pozitív gazdasági eredményt adott, ugyanakkor a maximális haszon tíz év elteltével prognosztizálható, értelemszerűen új-zélandi gazdasági környezetben. Kilenc évig tartó, az izombeépülés növelésére irányuló szelekciós kísérlet eredményeit foglalták össze Dorset Down genotípuson Young és mtsai (1998). A szelekció 7 %-kal növelte a karkasz súlyát, úgy hogy közben 8 %-kal csökkent zsírtartalma, illetve 2 %-kal nőtt az izom tartalma. Az alkalmazott biometria eljárási finomítását követően (a testtömeget kovariánsként szerepeltették) a mért különbségek megkétszereződtek (15 % zsírtartalom csökkenés, 4 % izomnövekedés).

Hasonlóan az új-zélandi gyakorlathoz a skót juhnevelésben is intenzív a CT használata. Jones és mtsai (2002) Suffolk, Texel és Charolais juhokon végeztek vizsgálatokat anatómiai pontokhoz kötött felvételek segítségével (5. hátszigolya, femur közép, *os ischium*). Némileg meglepő módon a comb izomzat esetében - a törzshöz képest - szorosabb összefüggést ( $r=0.48-0.60$  vs.  $0.33-0.54$ ) találtak a CT eredmények és a próbavágás között. Mások, anatómiai pontokhoz kötött vizsgálatokban, így juhon (Pászty, 2000), illetve nyúlön (Romvári, 1996) a comb felvételezésével nem tudtak hasonló eredményt elérni. Ugyanezen skót kutatócsoport (Jones és mtsai, 2002) publikált először  $h^2$  értékeket ( $0.3-0.46$ ) a karkasz izmoltságával kapcsolatban tíz éven keresztül, Suffolk állományon végzett CT-re alapozott szelekció adatainak feldolgozásával. Junkuszew és Ringdorfer (2005) közleménye beszámol a CT első teljesítményvizsgálati felhasználásáról Ausztriában.

Alig néhány közlemény foglalkozik az MRI juhtenyésztési célú felhasználásával. Ahogy a sertés vizsgálatoknál, itt is a merienseei kutatók a legaktívabbak, melyet részben az magyaráz, hogy a vizsgálatok időpontjában nem rendelkeztek CT berendezéssel. Elsősorban eltérő genotípusok (német merinó, feketefejú német húsjuh, texel és ezek keresztezései) testösszetételét vizsgálták *in vivo* (Streitz és mtsai, 1995; Baulain, 1997). A karkasz-összetétel vizsgálatának szempontjából a módszert Stanford és mtsai (1998) értékelték.

Tejelő kecskék testösszetételét először Sørensen (1992) vizsgálta. A juhoknál leírthoz hasonló kedvező eredményeik alapján Lewis és Simm (2002) két lépcsős szelekciót javasol a karkasz izmoltságának növelésére kiskérődzők esetében. Jopson és mtsai (1992) dámszarvasokat vizsgáltak. Kísérletük során az első nyakcsigolya és a fartájék között átlagosan 22 felvétel készült, melyek értékelését Thompson és Kinghorn (1992) által fejlesztett CATMAN szoftverre alapozták. Eredményeik szerint ezzel a módszerrel a téli évszak folyamán követhető a zsírdépők felhasználási üteme.

### *Kaposvári vizsgálatok*

A sertésvizsgálatokkal egyidőben kezdődtek karunkon a juh vizsgálatok, magyar merinó kosok CT -re alapozott minősítésének kidolgozása céljából (Pászthy és mtsai, 1991; Lengyel és mtsai, 1992). Az első közlemények tisztázták a CT-adatok és a vágóérték közötti összefüggéseket. Sehested (1986) tapasztalatai felhasználva egyedenként 7-7 felvétel (9., 11., 13. hát, 2., 4., 6. ágyéki csigolyánál és a femur fejénél) készült. Kövér és mtsai (1993) által leírt adatfeldolgozás során a CT-adatokból jól becsülhető a comb, a rövid- és a hosszúkaraj, a

hasított tömeg, a vese- és a hasúri faggyú, valamint a lábvégek tömege. Az első vizsgálati szakasznak eredményeit Pászthy (2000) foglalta össze.

Figyelemmel a hústermelés növelésére irányuló szelekció szempontjaira, eltérő genotípusok izom- és faggyúbeépülését vizsgálta Mezőszentgyörgyi (2000). Az általa kidolgozott ún. CTIF (CT izom/faggyú) index jól alkalmazható a vágott test izom/faggyú arányának mérésére. A további kísérletekben a nyúlra kidolgozott 3D hisztogramokon alapuló módszert (Romvári és mtsai, 1996c) alkalmazták a testösszetételben szélsőséget képviselő suffolk és magyar merino fajok összehasonlítása során. Ezt a módszert fejlesztette tovább Toldi (2003), aki a juhok vágóértéke és az S/EUROP, valamint ausztrál EUROP minősítés közötti összefüggéseket elemezte. Eredményei szerint 3 anatómiai ponton (felkar és a lapockacsont ízesülésén, a 13. háti és az 1. ágyéki csigolya találkozásán, combcsont és a medencecsont ízesülésén) készült CT felvételek alkalmasak az S/EUROP nagysúlyú juh vágott test minősítés testalakulási kategóriáinak *in vivo* meghatározására, nem alkalmasak azonban a faggyúzottsági osztályok mérésére. Érdekes eredmény ugyanakkor, hogy a metodika jól alkalmazható az ausztrál EUROP minősítés faggyúvastagsági fokozatainak meghatározására, ami közvetve alátámasztja a CT vizsgálatok kiemelt szerepét az ausztrál és új-zélandi juhtenyésztésben.

A gímszarvasokkal kapcsolatos első hazai vizsgálatokról Horn és mtsai (1992) számoltak be. A modellszintű kísérlet eredményeként bizonyítást nyert a CT felhasználhatósága a szarvasok testösszetételének vizsgálatában. Néhány évvel később megkezdődtek a testösszetétel meghatározását célzó első MRI vizsgálatok, melyek eredményeit Romvári és mtsai (1999) foglalták össze. Alapozva a Diagnosztikai Intézetben folyó humán diagnosztikai tevékenységre gímszarvas esetében először került sor metodikai célú dinamikus szív MRI felvételezésre (Repa és mtsai, 1999). Mintegy összefoglalva a gímszarvason végzett képalkotó vizsgálatokat az 1998-ban Kaposváron megrendezett 4. Szarvas Biológiai Világkongresszusra készült el a gímszarvas CT és MRI anatómiai atlasza (szerk. Horn, 1998). Az atlasz nemzetközi szinten is elsőként és egyedülálló részletességgel tárgyalja a gímszarvas anatómiáját, egyben elindítója volt további hasonló jellegű munkáknak, más állatfajok esetében is.

Méretük miatt a kifejlett szarvasmarhák a rendelkezésre álló képalkotó berendezésekben nem vizsgálhatók (a gentry és a testtekercs átmérője megközelítően 50 cm). Ennek megfelelően szarvasmarha-tenyésztési szempontból két lehetőség kínálkozik, vagy fiatal, kis élősúlyú borjak vizsgálata, vagy a teljестest szöveti összetételét reprezentáló részek, elsősorban a rostélyosból kivágott ún. hármás bordarész vizsgálata. Utóbbi módszert választották Holló és mtsai (2001), akik a pozitív eredmények alapján javasolják a CT vizsgálatok beépítését a hazai vágómarha minősítő rendszerbe. Ugyanezen munkacsoport a CT módszer lehetőségeit megvizsgálta a hármás bordarész kémiai összetételének meghatározásában (Holló és mtsai, 1999). Eredményeik megerősítik mások megfigyeléseit, miszerint a kémiaiilag meghatározott nyerszsírtartalom és CT felvételek pixel denzitás értékei között szoros kapcsolat van. A fenti kísérletsorozathoz kapcsolódva MRI vizsgálatokra is sor került a bordarész szöveti összetételének, valamint területének mérésére (Holló, 2001).

### 2.3.3. Baromfi fajok

Bentsen és mtsai (1986; 1989), valamint Bentsen és Sehested (1989) brojlerok abdominális zsír és a mellizom mennyiségét mérte CT-vel. A vizsgált norvég hibrideknél a metszési síkok megválasztásánál felhasználták az általuk képzett változók három dimenziós gyakoriság-eloszlását. Vágás után megmérték az abdominális zsír és a mellizomzat tömegét és meghatározták karkaszhoz viszonyított arányukat. Hasonlóan a sertés- és a juhvizsgálatok

értékeléséhez, a gyakoriságeloszlási adatokból képzett változókkal MGLH stepwise és főkomponens analízis módszerével egyenleteket szerkesztettek. Ezeket független állományon tesztelve  $r=0.86$ -os összefüggést állapítottak meg a becsült és a mért abdominális zsír mennyisége között. Svihus és Katle (1993) három egymást követő évben vizsgált brojlereket Bentsen előbb ismertetett módszerével. Amennyiben az abdominális zsír, vagy a mellizom tömegének becslését azonos évből származó, de független állományon tesztelték, úgy  $r=0.63-0.70$ , ill.  $0.54-0.76$  erősségű összefüggést találtak a becsült és mért értékek között. Ezzel szemben a korreláció szignifikáns csökkenését tapasztalták, amennyiben az ellenőrzést eltérő évből származó mintán végezték.

A mellizom tömegét és kihozatali arányát mérték brojlercsirkében Remignon és mtsai (1997). Hasonló elven vizsgálták eltérő genotípusú pulykák (BUT 9, Nicholas) szöveti összetételét (zsír, izom, csont) 4 és 17 kg között Brenoe és Kolstad (2000), akik a testösszetételben meghatározott ivari eltérések miatt a nőivar alacsonyabb élősúlyban történő vágását javasolják. Érdekes - élelmiszer technológiai - felhasználást ismertetett Tao és Ibarra (2000), akik a CT-t csontszilánkok detektálására használták csontozott baromfihúsban.

Az MRI módszert baromfiféléken először Mitchell és mtsai (1991) alkalmazták, akik *transaxialis* síkban készült felvételek alapján 140 és 2760 g közötti élősúly tartományban mérték a mellizomzat térfogatát. A megadott 0.99-es  $R^2$  érték saját tapasztalataink alapján túlzónak tűnik. Scolland és mtsai (1998) a képfeldolgozás továbbfejlesztésével, 3D rekonstrukciókra alapozva becsülték a mellizomzat térfogatát, a korábbihoz hasonló becslési pontosságot megadva. A francia CEMAGREF kutatói (Davenel és mtsai, 2000) hasonló technikával 0.92-es  $R^2$  értéket adtak meg. Vizsgálataik célja az UH vizsgáló berendezések megfelelő pozicionálása volt.

#### *Kaposvári vizsgálatok*

A Karon végzett teljesítményvizsgálatok lehetőséget adtak az *in vivo* módszer alkalmazására a pecsenyecsirkék izombeépülésének és zsírtartalmának mérésére. A megfelelő állatrögzítési módszer kialakítása után (hármastartó, lásd 2. ábra), első lépésben sorozatfelvételek segítségével megbízhatóan kijelöltük a mellizom és a hasúri zsír becslésére alkalmas testszelvényt. A mellizom tömege jól becsülhető a CT felvételekről levett izomkeresztmetszet-értékek alapján, amennyiben a második, a harmadik és a negyedik bordához tartozó csigolyák metszési síkjában mért átlagos izomkeresztmetszet és a mellizom tömege között  $r=0.8$ -as korrelációt kaptunk. A legnagyobb mellizom terület - hason fekvő vizsgálati helyzetnél - a *clavicula* végét metsző felvételeken mérhető (Romvári, 1996d). A zsírszövet mennyiségének meghatározását nehezíti, hogy annak felszínét a keresztmetszeti felvételeken nem lehet pontosan mérni, ezért a zsírtartalom becslését a pixeldenzitás-értékek gyakoriság-eloszlására lehet alapozni.

Takarmányozási vizsgálatok során (az NRC által meghatározott szükségleti értékhez képest -20, illetve +20 % ME tartalom, 28 és 49 napos brojler) két testszelvényben meghatároztuk a relatív szöveti összetételt. A számított, testtömegtől független HU index segítségével a takarmányozási csoportok becsült zsírtartalma egymástól jól elkülöníthető (Romvári és mtsai, 1996d). A módszertani jellegű vizsgálatban a denzitásértékekből képzett HU változók, illetve a teljestest-analízis eredménye közötti összefüggésre alapozva becsülő egyenleteket dolgoztunk ki a brojler teljestest-zsírtartalmának meghatározására (Romvári, 1994). Az akkor alkalmazott eljárás kritikáját a 4.1.2.2. fejezetben részletesen kifejtem.

A lúd fajban - a világon elsőként - két magyar tenyésztővállalat alkalmazta a CT módszert lúd tenyésztővonalak szelekciójában. A Horn Péter által tervezett nemesítési programban a Kolos

Agro lúdenyésztési vállalat apai vonalának mellhús tömegét 1995-2000 között 185 g-al (18 %) növelte - három generációs szelekció során – azonos élőtömegre vonatkoztatva (Miklós, 2001). A Bábolna Rt. lúdnemesítési programjában egy generációs CT-re alapozott szelekció során a mellhús tömegének 6.7 %-os növekedését realizálta szelekciós előrehaladásként. (Czinder és mtsai, 2001). Mindkét programban a CT alapú kétlépcsős tömegszelekció rendkívül nagymértékű - generációnként mintegy 6 %-os - mellhústömeg gyarapodáshoz vezetett, bizonyítva az eljárás kiemelkedően nagy gyakorlati hatékonyságát.

#### 2.3.4. Halfajok

Gjerde (1987) halakon folytatott kísérletében előzetesen -25 °C-on fagyasztott, majd 4 °C-on 4 napig tartott 2-4 kg testsúlyú szívárványos pisztrángokat vizsgált. Ennek tudható be az, hogy halanként három felvételt készítve naponként 150 állat vizsgálatára volt lehetőség. Rye (1991) vizsgálatai során a CT módszert a lazac testösszetételének meghatározására adaptálta. Ugyancsak lazacokon tanulmányozták a testarányok változását és a filé kihozatalát Einar és mtsai (1998) a vágást megelőző éheztetést követően. Kolstad és mtsai (2004) atlanti laposhal (*Hippoglossus hippoglossus*) filé-zsírtartalmát mérték CT-vel. Az MRI igen érdekes alkalmazási területét mutatták be Nott és mtsai (1999), akik a fagyasztás és felolvasztás hatását vizsgálták tőkehalon és makrélán, élelmiszer minősítési szempontokra tekintettel.

#### *Kaposvári vizsgálatok*

A disszertációban később ismertetésre kerülő eredményekre alapozva Müller és mtsai (2004a, 2004b) angolnák hormonkezelés indukálta ivari érését tanulmányozták, bizonyítva a CT módszertan ilyen irányú alkalmazhatóságát. Székely és mtsai (2004) angolna úszóhólyag *Anguillicola crassus* fertőzöttségét vizsgálták összehasonlító röntgen és CT kísérletükben.

#### 2.3.5. Húsnyúl

A világon első ízben egyetemünkön került sor nyulak tomográfiás vizsgálatára. A korábbi eredmények többségét PhD disszertációm tartalmazza. E vizsgálatok során elért, részben módszertani eredmények erős befolyással voltak a későbbi kaposvári kísérletekre, mivel állatfajtól függetlenül metodikailag megalapozták azokat. Erre való tekintettel ezeket az eredményeket, úgyis mind jelen disszertáció közvetlen előzményeit, röviden összefoglalom. A kísérletek a Sertés és Kisállattenyésztési Intézetben 1991-ben kezdődtek. Ehhez jó alapot jelentett, hogy a Kar az államilag elismert Pannon fehér húsnyúl fajta tenyésztésének központja, s mint ilyen viszonylag nagy létszámú, kísérleti célra is jól használható, minőségi állománnyal rendelkezik. Ez, valamint a nyúl rövid generációs intervalluma igen kedvező alapot nyújtott a CT-re alapozott vágóértékre történő szelekció módszerének kidolgozásához, ellenőrzéséhez és alkalmazásához.

A kísérletsorozat kezdetén céljaink között szerepelt a CT, mint kisállattenyésztési vizsgálati módszer lehetőségeinek felmérése, házinyúlánál különös tekintettel a nemesítésben történő felhasználására, a növekedés, illetve a vemhesség és laktáció alatti testösszetétel változás vizsgálatára, valamint a test kémiai összetételének *in vivo* meghatározására.

#### *CT vizsgálati és értékelési módszer és fejlesztése*

A CT felvételezés során, a vemhes nyulak kivételével, az állatokat altatás nélkül, speciális tartókban, hason fekvő helyzetben rögzítettük. Kísérleti céltól függően egyedenként 3-60 felvételt készítettünk Siemens Somatom DRG típusú tomográf-felvételezővel, majd ezt követően minden felvételt archiváltunk. A CT képek első szintű értékelését a CT-PC szoftver (Kövecses és Berényi

1991-95) segítségével végeztük személyi számítógépen. A felvételek feldolgozásánál két megközelítési módot alkalmaztunk: a kísérletek egy részében távolság, ill. izomkeresztmetszet értékeket vettünk fel, más alternatívát jelentett az egyes képalkotó pontokhoz (pixelekhez) rendelt röntgensugár elnyelődési értékek (denzitásértékek) használata a biometria feldolgozásokhoz.

A CT rutinszerű alkalmazásakor felmerült az egy állatra jutó vizsgálati idő csökkentésének igénye. Különösen fontos ez a szelekciós célú vizsgálatok esetében, amikor tekintetbe kell venni, hogy a tenyésztésbe vett egyedek (20-30 %) felvételezési költségeit a kiválasztásra nem került (70-80 %) állatoké is terheli. Ennek érdekében olyan állatrögzítőt fejlesztettünk ki (2. ábra), amely megközelítően háromszorosára emelte az egységnyi idő alatt vizsgálható állatlétszámot, mind nyúl, mind pedig brojlercsirke esetében. Segítségével egyedenként két-két felvétel, valamint egy topogram készítését alapul véve óránként 30 növendéknyúl, illetve brojlercsirke tomográfiás vizsgálata végezhető el.

A képalkotó pixelek denzitás értékének feldolgozásán alapuló értékelést szolgálja az általunk kifejlesztett szoftver. A program segítségével számított HU változók becslő egyenletek felállítására és 3D hisztogramok szerkesztésére alkalmasak (Romvári és mtsai, 1996d). A szoftver később továbbfejlesztésre került, figyelemmel a spirál CT használatára (Histocat 2.2).

#### *A vágóérték in vivo meghatározása*

A Pannon fehér nyúl vágóértékének javítására irányuló szelekciós célú vizsgálataink első lépésében - közel azonos testtömegű állatokon - több olyan anatómiai méretet vettünk fel (a hosszú hátizom és a combizom metszési felszíne több ponton, a csigolyák közötti távolság és a combcsont hossza, illetve az ezekből képzett értékek), amely CT adatok alkalmasak lehetnek a vágóérték becslésére. Közülük a legjobbnak az un. L-érték (a 2. és 3., valamint a 4. és 5. ágyékcsigolya metszési síkjában mért *m. longissimus dorsi* (mLD) keresztmetszet átlaga) bizonyult.

Az L-érték, valamint a vágási kitermelés, a középső rész (gerinc), a gerincen lévő hús és a gerincen + combokon lévő hús tömege közötti korreláció eléri, vagy meghaladja a 0.6-0.7 -es szintet (Szendrő és mtsai, 1992). A comb közvetlen vizsgálatakor két probléma merült fel. Az egyik technikai jellegű, amennyiben kiderült, hogy a hátulsó lábakat nem lehet standard módon rögzíteni. Ez azt jelenti, hogy a combcsont és a vizsgáló asztal által bezárt szög változik, ami az adott ponton mért izomkeresztmetszet értékeket erősen befolyásolja. A másik probléma abból ered, hogy a combizom anatómiai felépítése miatt viszonylag kis - 0.5 - 1.5 cm-es - eltérés a választott metszési síkhoz képest, jelentős változást eredményez az izomkeresztmetszetben.

#### *Szelekciós célú felhasználás*

A tenyész kiválasztás során megoldhatatlan az állatok azonos súlyban történő vizsgálata, ezért a húsnyalakon elvégzett alapvizsgálat folytatásaként a testtömegtartomány kiterjesztésével, a gyakorlati nemesítő munkában is hasznosítható eljárást dolgoztunk ki. A mérési intervallumban, a két szélső érték között (2200 és 3400 g) az L-érték 30 %-kal, a gerincen lévő hús tömege 40 %-kal nőtt (Romvári és mtsai, 1995). A testtömeg és az L-érték közötti regressziós egyenes és az egyes egyedek ettől való eltérése (a vizsgált érték és az egyenes közötti távolság) lehetővé tette a testsúlytól független relatív érték megállapítását.

Kétirányú (divergens) szelekciós kísérlet eredményeinek segítségével bizonyítottuk a CT-re alapozott tenyész kiválasztás hatékonyságát. Több lépcsőben megközelítően 250

növendéknyúl tomográfiás vizsgálatát és 600 egyed próbavágását végeztük el. A “-” sel (a legkisebb L-értékű apák ivadéakai), a szelektálatlan, a “+” sel (a legjobb L-értékű apák ivadéakai), és a “++” -sel csoport (“+”-sel apák ivadéakai) L-értéke sorrendben 19.6, 20.1, 20.5 és 20.8 cm<sup>2</sup> volt. A “-” sel és “++” sel csoportok között közel 2 %-os a különbséget kaptunk a vágási kitermelésben, természetesen az utóbbiak javára. A próbavágások eredményeként megállapítottuk, hogy a tomográfra alapozott szelekció növeli a középső- és a hátulsó rész, ugyanakkor csökkenti az elülső rész, a bőr és a nem ehető belsőségek tömegét és arányát (Szendrő és mtsai, 1996).

Fenti eredmények alapján a tomográfiás vizsgálatokat beillesztettük a Pannon fehér fajta szelekciós programjába. Az előzetesen 6 és 10 hetes kor közötti tömeggyarapodás alapján legjobbnak talált, kifogástalan egészségi állapotú, hímivarú növendéknyulakat vizsgáltuk CT segítségével. Az L-érték alapján az egyedeket sorbarendeztük, majd a legjobb 10 %-ot továbbtenyésztésre kiválasztottuk. Az a lehetőség, hogy a tomográfiás vizsgálat a nyulak vágóértéke *in vivo* módon becsülhető, minőségi változást jelentett a vizsgált tulajdonságok javítása irányában folyó szelekcióban. Az eljárás egyrészt értelemszerűen pontosabb a baknyulak ivadékainak vágási eredménye alapján történő minősítésnél, másrészt magáról az egyedről nyert információ miatt a generációs intervallum rövidül, ami önmagában is lényegesen gyorsítja a genetikai előrehaladást. A legjobb egyedek genetikai értékének gyors elterjesztését segítette a mesterséges termékenyítés, amellyel egy CT-n kitűnőnek minősített tenyészbak után évente elvileg 20-25 ezer utód nyerhető.

A szelekciós kísérlettel párhuzamosan, a folyamatos rutin tenyészkiválasztás eredményességét is bizonyítottuk. A vizsgált két év alatt a CT -re alapozott kiválasztás segítségével a Pannon fehér fajta vágási kitermelése 2 %-kal javult (Romvári, 1996d). Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy az igen kedvező eredmények csak a hímivarú egyedek legjobbjainak kiválasztásán alapulnak. A nőivar hasonló célú tomográfiás vizsgálatával a vágóérték javítása jelentősen gyorsítható lenne. Természetesen az első két év átlagában elért évi 1 %-os vágási kitermelés javulási üteme, a tulajdonság állományon belüli variabilitásának csökkenésével mérséklődik. A Pannon fehér nyúl CT-re alapozott szelekciójának sikerét jelzi, hogy a fajta 2004-ben az ország tenyésznyúl állományának 44 %-át adja. A további előrehaladás érdekében, 2003 végén megváltozott a Pannon fehér tomográfra alapozott szelekciója, amennyiben ettől kezdve a hosszú hátizom metszési felszíne helyett a combizomzat, pontosabban a hátulsó rész tömege alapján történik a tenyészállatok kiválogatása. A változtatástól a vágóérték további javulása várható, tekintettel arra, hogy a színhústartalmon belül a comb izomzata nagyobb részarányt képvisel, mint az mLD.

A fentiekben ismertetett CT-n alapuló szelekció eredményeit Szendrő és mtsai (2004) foglalták össze 12871 egyed vizsgálatára alapozva. A kiválasztott hím, illetve nőivarú állatok „L” értéke 1.8, illetve 1 cm<sup>2</sup> -rel haladta meg a populáció átlagát. A REML módszer alapján az „L” értékre számított h<sup>2</sup> érték 0.41, az alomhatás (c<sup>2</sup>) pedig 0.12. Az alkalmazott BLUP eljárás az „L” érték genetikai értékének folyamatos növekedését bizonyította a vizsgált időintervallumban.

#### *Szőveti összetétel változásának vizsgálata*

A nyulak növekedés alatti testösszetétel-változása sorozatfelvételeken alapuló eljárás segítségével igen jól követhető. Növekedésben lévő állatok vizsgálata során az eltérő testméretű egyedekről azonos számban, de más-más lépésközzel készültek a felvételek. A módszer igen hatékonynak bizonyult a különböző tömegű állatok testösszetételének összehasonlításában, mivel az azonos sorszámú CT-képek mindig azonos anatómiai síkot metszenek. A modellül szolgáló kísérletben, négy testtömeg-kategóriában (0.5, 1.5, 2.5, 3.5



kg) változó lépésközzel készült 24 felvétel alapján 3D hisztogramokat szerkesztettünk. A CT képek denzitásértékeiből, negatív exponenciális interpoláció módszerével képzett háromdimenziós (3D) hisztogramok alkalmasnak bizonyultak a szöveti összetevők (zsír - izom) vizsgálatára. A módszer lehetőséget ad a különböző szövettípusok térfogatának becslésére (Romvári és mtsai, 1996b; 1996c). A hisztogramokon alapuló módszer egy korai változatával Fekete és mtsai (1994) a vemhesség táplálóanyag-szükségletét mérték új-zélandi fehér nyulakon. A módszert később Milisits (1998) alkalmazta eltérő genotípusú nyulak izom- és zsírszövet beépülésének vizsgálatára 6 és 16 hetes életkor között.

---

**Összefoglalva** az eddigieket, állatfajtól függetlenül jól érzékelhető szakaszosságot figyelhetünk meg a CT - és kisebb mértékben az MRI - vizsgálatokban. Első lépcsőben a módszert tesztelték fix anatómiai pontokhoz kötött felvételeknél. A CT kép információ tartalma, valamint a hozzá tartozó szelet (testszelvény) szöveti összetétele közötti szoros korrelációs értékek további vizsgálatokat indukáltak. Ezt követően sorozatfelvételeken (ausztrál módszer) vagy előkísérletek alapján meghatározott anatómiai síkokban (norvég módszer) készült felvételekkel becsülték a teljestest összetételét és/vagy a vágóértéket. Gyakorlatilag minden munkacsoport eljutott addig a pontig (a 90-es évek eleje), hogy a módszert szelekciós célra alkalmasnak tartotta és ilyen irányú felhasználását javasolta. Az első publikált szelekciós eredmények Kaposváron, húsnyúlón születtek (Szendrő és mtsai, 1996), majd ezt követően jelentették meg juhon végzett eredményeiket Jopson és mtsai (1997), illetve Young és mtsai (1998). Ugyanezen két állatfaj esetében írtak le először  $h^2$  értékeket (juhnál: Jones és mtsai, 2002; nyúlnál: Nagy és mtsai, 2004, illetve Szendrő és mtsai, 2004).

## **2.4. A hústermelésre irányuló szelekció hatásai**

Korábbi vizsgálataimban elsősorban a nyúlfajra koncentráltam, majd érdeklődésem középpontjába a baromfi és a sertés, mint a hústermelés növelésére irányuló szelekció legfontosabb alanyai kerültek. Ennek megfelelően a következőkben e két állatfaj növekedésére és testösszetételére irányuló szelekció következményeit foglalom össze röviden.

A baromfi- és a sertésenyésztők a szelekció során a jobb növekedési erélyt, a csökkenő zsírtartalmat, és a növekvő izmoltságot helyezik előtérbe. Az ilyen jellegű tenyészkiválasztás következményei között összetett, a takarmányozási és környezeti körülményekre irányuló hatások jelentkeznek, melyek közül néhány - arra alkalmas modellekkel - megbízhatóan előre jelezhető. Ezen információk segítségével a szelekció negatív következményei, megfelelő technológiai változtatásokkal (pl. alacsonyabb környezeti hőmérséklet) elkerülhetők. A növekedési erélyre irányuló szelekció ugyanakkor kimeríti a fenntartó rendszerek kapacitását, miközben annak még a megnövekedett anyagcsere intenzitással is meg kell birkóznia.

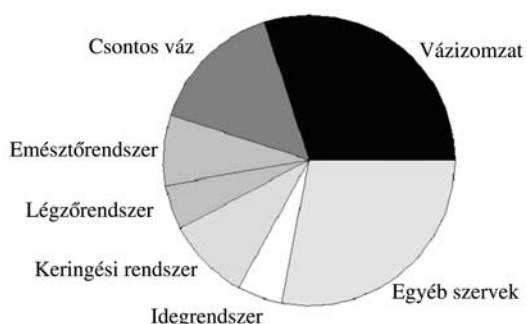
A baromfi- és sertésenyésztők kompetitív piacokon dolgoznak, ezen túlmenően a baromfi és a sertés termelés egymással is versenyez. Ennek jellegét ökonómiai elvárások határozzák meg, amennyiben a bevétel, általában a vágáskori élősúlytól függ. Néhány piacon azonban az egységnyi testsúlyra jutó ár a testösszetételtől függ, amit leggyakrabban a zsírtartalom és a legértékesebb testrészek, főleg a vázizomzat aránya határoz meg. A termelő profitja részben a bevételen, részben pedig az állat vágósúlyának és kívánt testösszetételének eléréséig fellépő költségeken múlik. Utóbbiak a bojlercsirkénél, a pulykánál és a sertésnél elsősorban az elfogyasztott takarmány mennyiségével és a hizlalási/felnevelési idővel arányosak. A nevelési költségek csökkentésének egyik kézenfekvő módja, ha az állatokat gyorsabb növekedésre szelektáljuk egy adott élősúly minél előbbi elérése céljából. Ennek megfelelően a baromfi- és sertésenyésztésben évtizedek óta hagyományosan alkalmazott módszer egy meghatározott

életkorban a testsúly növelésére irányuló tenyészkiválasztás (Siegel és Dunnington, 1987). E munka eredményeképpen a vágásérett súlyt egyre fiatalabb korban érik el az állatok (Hartmann, 1988; McKay és mtsai, 2000). A növekedési erély gyorsítására irányuló rendkívül eredményes szelekció káros következménye, hogy az emésztő-, a légző-, a keringési és a kiválasztó rendszer egyre nehezebben képes alkalmazkodni a felgyorsult anyagcseréhez (McKay és mtsai, 2000). Ezen túlmenően igen fontosak a szelekciónak a takarmányozási és környezeti igényekre kifejtett következményei is. Ezek előrejelzésére különböző sertés és baromfi növekedési modelleket használnak (Emmans és Fisher, 1986; Emmans, 1997; Ferguson és mtsai, 1994; Emmans és Kyriazakis, 1999).

Amikor az észak-amerikai és európai emberek élelmiszerhiányban szenvedtek, a sertézsír keresett terméknek számított, s így a genetikusan zsíros sertések képviselték a magas piaci értéket. A modern nyugati társadalmakban az állati zsír iránti preferencia azonban csökkent és a sovány sertés vált értékesé. A sertés nemesítők erre a változásra a genetikailag zsíros egyedek selejtezésével válaszoltak. A szelekciót kezdetben adagolt takarmányozás mellett végezték. Ha a csökkenő zsírtartalomra irányuló tenyészkiválasztás korlátozott takarmányellátás mellett folyik - amelyet az állat teljesen elfogyaszt - akkor a szelektált egyed nem csak soványabb lesz, de szükségképpen gyorsabban is nő. Ha *ad libitum*ra változtatjuk a takarmányozást, egyszerűbb kiválasztani a nagyobb növekedési potenciállal rendelkező sertést. Így a zsírtartalom elleni szelekció a nagyobb növekedési rátára irányuló tenyészkiválasztással párosul (Merks, 2000).

A pulyka a legjobb példa az olyan állatra, melynél az erős szelekció egy kiemelt testrésze irányult. A sok generáción keresztül a mellizomzat növelésére folytatott tenyészkiválasztás gyors változást eredményezett, amely ugyanakkor együtt járt a teljes vázizomzat részarányának növekedésével is (Emmans, 1989). Az elmúlt években a mellhús tömege a brojlercsirkék szelekciójában is szerepet játszott (McKay és mtsai., 2000), a sertés esetében pedig a sonka arányának növelését célozták meg (Merks, 2000). Fennáll annak a lehetősége, hogy az ilyen irányú szelekciós stratégiák módosítják a normális működésbeli kapcsolatot a vázizomzat és a csontos váz között (Knap és Luiting, 1999), de emellett még számos egyéb nem kívánt következménnyel is járhatnak. Ezeket az alábbiakban foglalom össze.

Az 1. ábra a brojlercsirke vázlatos szervezeti felépítését mutatja. Ahogy azt a korábbiakban már érintettem, a nagyobb növekedési erélyre való szelekció azonos testsúlyban megnöveli a takarmányfelvételt, a hőtermelést és az oxigénfogyasztást. Többen (Rauw és mtsai, 1998;



**1. ábra Brojlercsirkék szervezeti felépítése az egyes szervrendszerek mennyiségi eloszlása alapján** (Emmans, Kyriazakis, 2002)

Knap és Luiting, 1999) leírták, hogy az állatok termelés-élettani értelemben korlátozott kapacitással rendelkeznek, ami az ún. „forrás megosztás elméletén” alapul (Beilharz és mtsai, 1993). Ennek következtében a gyorsuló növekedési potenciál szükségszerűen valamely termelési, vagy élettani tulajdonság pl. a betegségek elleni rezisztencia gyengülését okozzák (Coop és Kyriazakis, 1999). A megnövekedett takarmány felvétel nagyobb emésztő rendszert, a fokozott oxigén fogyasztás pedig nagyobb légző rendszert igényel.

A megnövekedett anyagcsere intenzitás által indukált oxigén igényt, azonban csak egy nagyobb kapacitású szív és keringési rendszer képes

biztosítani. A fentiek értelmében a legnagyobb arányt képviselő vázizom tömegének további növekedését eredményező szelekció szükségképpen más szervek és szervrendszerek arányának, így teljesítményének csökkenését okozza. Felmerül a kérdés, hogy mely szövetek és szervek kárára történik mindez, főleg ha a nagyobb növekedési erélyre történő szelekciót azon izmok tömegének növelésével akarjuk elérni, melyek amúgy is a test jelentős részét alkotják. Elkerülhetetlennek látszik, hogy bármit is teszünk a takarmányozás és a környezeti feltételek szintjén, a szervezet egésze egy ponton kimerül, a termelési-élettani rendszer egyensúlya felborul.

---

Mindezeket **összefoglalva** a szelekciónak vannak olyan következményei, melyek mennyiségileg nagy pontossággal előre becsülhetők és a környezeti tényezők megfelelő változtatásával egyensúlyba hozhatók az eltérő genotípusok igényével. Vannak azonban olyan következmények is, melyek csak minőségi szinten jelezhetők előre. Egyértelmű, hogy a növekedésre történő folyamatos szelekció egyre nagyobb és nagyobb stresszként hat az állat élettani rendszerére. Az állatok aktuális szükségleteinek megfelelő takarmányozása mellett a keringési- és a légző rendszer fog legelőször összeomlani. Ehhez kapcsolódva a problémát súlyosbítja a test egyes részeinek, mint a vázizomzat arányának növelését célzó szelekció. Minden bizonnyal a folyamat végpontja a szervezet valamiféle összeomlása, ugyanakkor ennek várható időpontja mai ismereteinkel még nem prognosztizálható (Emmans és Kyriazkis 2000).

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben csak az általános módszertani ismereteket foglalom össze. Az egyes kísérletekre vonatkozó leírás az adott alfejezetbe építve található meg.

#### 3.1. Kísérleti állatok, tartási körülmények, vizsgálati időpontok

A vizsgálatokban résztvevő állatok néhány kivételtől eltekintve a Kaposvári Egyetem - illetve a jogelőd PATE - Állattudományi Karának Kísérleti Telepén voltak elhelyezve. A kivételeket az adott kísérlet tárgyalásakor megadom. A tartási és takarmányozási körülmények a mai intenzív állattenyésztési gyakorlatnak feleltek meg. Az ettől való eltérést minden esetben jelzem.

##### 3.1.1. Nyúl

A nyúl vemhességével kapcsolatos vizsgálatokba (4.1.1.1.1.) 43, egyedi ketrecekben (80x50 cm) elhelyezett még nem fiolt Pannon fehér nyulat vontunk be, *ad libitum* takarmányozás mellett (DE: 10.3 MJ/kg). A húsnyulak testösszetétel változásának vizsgálatok (4.1.2.2.1.) összesen 406 növendéknyulat vittünk CT-re (a fajtatípusa Pannon fehér (P) és a keresztezett Dán fehér x Pannon fehér (DxP) genotípusokból; 6, 8, 10, 12, 14 és 16 hetes korban sorrendben 26, 25; 35, 30; 51, 44; 45, 36; 33, 22; és 28, 31 egyed). Hasonló célú MRI felvételezésre (4.2.1.) 87 vegyesivarú egyed került, 12 és 16 hetes életkorban, 2280 és 4010 g közötti élősúlyban (dán fehér (D): 15, P: 32, DxP: 29, PxP: 11).

##### 3.1.2. Brojlercsirke

A brojlercsirke növekedés vizsgálatát (4.1.1.1.2), illetve a teljestest kémiai összetételének HU változókon alapuló becslését (4.1.2.1.2.) 144 Arbor Acres Regular hústípusú csirkén vizsgáltuk. A vizsgálati időpontokban (4., 5., 6., 7., 8., 9., 10., 12., 14., 16. és 18. életkori hét) ivaronként 3-3 olyan egyed vizsgáltunk, melyek élősúlya a populáció átlagától legfeljebb  $\pm 1.5$  %-al tért el. Hasonló célú MRI vizsgálatok során (4.2.2.) 6, 7, 8, 10, 16 és 20 hetes életkorban ivaronként 6-6 egyed felvételeztünk 1420 és 5700 g-os testsúly tartományban. Az alkalmazott tartási és takarmányozási körülmények megfeleltek az általánosan alkalmazott technológiának (Sütő és mtsai., 1998). A HU index alkalmazásakor (4.1.2.1.2.) ivaronként 30-30 Arbor Acres Regular, valamint Arbor Acres Yield Pack genotípusú madarakat vizsgáltunk 6, 12 és 20 hetes korban. A morfológiai viszonyok vizsgálata során (4.1.3.1.) 10-10 Arbor Acres Regular és Foxy Chick húshibridről készültek felvételek 2 és 9 hetes életkor között, hetenkénti gyakorisággal. Az utóbbi két kísérletben szereplő hústípusú csirkék teljesítmény-vizsgálatból származtak.

##### 3.1.3. Tojótyúk

Az összehasonlító morfológiai kísérletben (4.1.3.1.), teljesítmény-vizsgálatokból származó 5-5 Bábolna Tetra SL, valamint Shaver Starcross 288-as tojóhibrid vett részt 8, 12 és 20 hetes korban. A vedletéssel vizsgálatokat (4.1.1.1.4.) 27 Hy-Line Brown tojóra alapoztuk (608 napos életkor,  $2.04 \pm 0.07$  kg-os testsúly). A kezelés 0., 6., 12. napján, majd a háromhetes regenerációs fázis végén történt a CT vizsgálat. Az állomány a teljes takarmány megvonást követően mélyalmon volt elhelyezve *ad libitum* vízfelvételi lehetőség mellett, 8 órás megvilágítással,  $14 \pm 1.2$  °C hőmérsékleten, 12 napon keresztül. A vedletést követően a regenerációs periódus során az *ad libitum* etetett takarmány összetétele: ME=11.5 MJ/kg, ny. fehérje=16.8 %, ny. zsír=2.9 %, ny. rost=3.6 %.

### 3.1.4. Pulyka

Pulyka összehasonlító növekedés vizsgálata során (4.1.1.1.3.) BUT Big 6-os és bronzpulyka CT felvételezése történt. A zárt, klimatizált épületben, mélyalmos tartásban, intenzív tápsor etetésével nevelt madarak közül ivaronként ugyanazon 2-2 egyedet, vizsgáltuk 5, 12, 16 és 21 hetes korban. Hasonló körülmények között tartott nyolc nagytestű pulykán (18-22 kg-os testsúly, 20-22 hetes életkor) történt a pulykaszív dinamikus MRI vizsgálati metodika kidolgozása (4.4.1.). A szívteljesítmény és a vázizomtérfogató összefüggésének vizsgálata során (4.4.3.1.) 5-5 hím-, illetve nőivarú BUT Big 6 pulykát vizsgáltunk 12, 15 és 20 hetes korban, CT, valamint MRI módszerrel.

### 3.1.5. Lúd

Az első metodikai célú vizsgálatban ugyanazt a három landeszi libát vittünk CT-re, összesen hat alkalommal (11, 15, 16, 17, 18 és 20 hetes életkorban), a töméses hizlalást megelőzően négy héttel, a tömés során és két héttel annak befejezését követően (4.1.4.). A zsírmáj kialakulás morfológiáját ugyanezen egyedeken tanulmányoztuk (4.1.3.2.) A második májliba vizsgálatba összesen 70 gunarat vontunk be (4.1.4). Először az előkészítő szakasz végén, majd a tömés 13., 18., 19., 20., 21. és 22. napján történt CT felvételezés a máj zsírtartalom *in vivo* meghatározása céljából. A tartási és az *ad libitum* takarmányozási módszer a hazai intenzív hízott libamáj előállítás gyakorlatának felelt meg. A 28 napos, úgynevezett előkészítő szakaszban a takarmányhoz (ME:11.2 MJ/kg, 4.9 g ny.zsír, 12.8 g ny.fehérje, 2.3 g ny.hamu/100g szárazanyag) jutás napi időtartama folyamatosan rövidült, a periódus végére 2x30 percre csökkent.

### 3.1.6. Sertés

Az intenzív hús (magyar nagyfehér x belga lapály x pietrain x norvég lapály) és szőke mangalica sertés testösszetételének összehasonlítását (4.1.1.1.5.) azonos (30, 60 és 90 kg-os) testsúlyban végeztük 6-6 ártány ismételt CT vizsgálatával. A mangalicákat egyedi kutricákban, a hústípusú sertéseket intenzív körülmények között tartották, 25-30-as csoportokban, az ATK herceghalmi istállóiban. Az alkalmazott takarmányozási protokoll genotípus és korfüggő volt. A sertés karkaszok színhústartalmának vizsgálatakor (4.3.) a KOMETA 99 kaposvári vágóhídján elvégzett FAT-O-méteres minősítés alapján történt a minta kiválasztása, úgy, hogy az megfelelően modellezze az európai sertéspopulációt. A képkötő vizsgálatra került féltések genotípus, ivar és hátszalonna vastagság szerinti megoszlását az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A vizsgált sertés féltések jellemzői

	Genotípus								Összesen vegyesivar
	Dalland		LW/LR		Seghers		Összesen		
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	
Sovány	6	1	5	5	16	8	27	14	41
Átlagos	6	12	4	2	6	3	16	17	33
Zsíros	7	9	8	16	3	3	18	28	46
Összesen	19	12	17	23	25	14	61	59	120

A bacon rész szöveti összetételének vizsgálatakor (4.5.2.) 130 hússertést (71-145 kg-os testsúly tartományban) felvételeztünk CT-vel. Az állatokat, melyek színhústartalma 35 és 68 %-között változott FAT-O-méteres vizsgálat alapján választottuk ki egy nagy mintából. További 10 lapály típusú ártányt vittünk CT-re 70, 90 és 110 kg-os testsúlyban az oldalsó rész szöveti összetételének súlyfüggő vizsgálata érdekében. A bacon jelleg javítására irányuló szelekciós kísérletek során (4.5.2.) a szülői generáció vizsgálatakor 130 lapály típusú

hímivarú, illetve 87 nőivarú sertést vontunk be, melyekből 80, illetve 50 egyed került CT-re. Az első szelektált nemzedék vizsgálatakor összesen 33 kan- és 40 kocasüldőt vittünk CT felvételezésre.

A szívteljesítmény javítására irányuló szelekciós kísérletben (4.5.2.) használt lapály vonal 1990-től zárt, az átlagos állatlétszám 80-90 tenyészkoca és 10-12 kan generációnként. Az eredeti alappopulációt Norvégiából importálták, úgy, hogy a tenyészanyag kiválasztását a NORSIN cég (Ås), illetve a PATE Állattenyésztési Karának munkatársai együttesen végezték CT vizsgálatok felhasználásával. A vizsgálatba vont kanokat és kocasüldőket központi teljesítményvizsgáló állomáson tesztelték. A legfontosabb hizlalási és vágási tulajdonságok, a következők voltak: vágáskori életkor: 153 nap ( $105 \pm 2$  kg), napi testsúly gyarapodás: 971 g, takarmányértékesítés: 2.53, a karkasz színhústartalma: 55.8 %. A jellemző reprodukciós tulajdonságok a következők voltak: választott malacok száma ellésenként: 9.3, 21 napos alomsúly: 6.1 kg (OMMI, 2003). A szülői nemzedék vizsgálatakor 36, a fentiekben megadott hizlalási és vágási tulajdonságokban átlag feletti kant vizsgáltunk CT és MR képalkotó eljárással. Az első szelektált nemzedékből 33 hímivarú egyed hasonló vizsgálatára került sor.

### **3.1.7. Juh**

A szívteljesítmény dinamikus MRI mérési metodikájának adaptálását (4.4.2.) három, egyenként 21 kg-os – a Kaposvári Egyetem, Állattudományi Karának Kísérleti Telepéről származó - hímivarú magyar merinó bárányon végeztük.

### **3.1.9. Halfajok**

A halfilé kémiai összetételének meghatározását célzó vizsgálatokban (4.1.2.1.4., 4.1.2.2.3.) 48 eltérő genotípusú hal szerepelt (18 tógazdasági nemes ponty, 10 busa, 10 amur és 10 süllő). A vizsgált egyedek félintenzív, polikultúrás halastavakból származtak, novemberi lehalászásból. Testsúlyuk 790 és 2775 g-között változott. Amíg a tógazdasági ponty és a süllő mintában mindkét ivar szerepelt, addig a vizsgált amurok és busák még nem érték el az ivarérettséget.

## **3.2. Képalkotó vizsgálatok**

A vizsgálatok során elvégzett minden CT és MR felvételezésre a Kaposvári Egyetem, Állattudományi Karának Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében, illetve annak jogelődeinél került sor.

### **3.2.1. CT vizsgálatok**

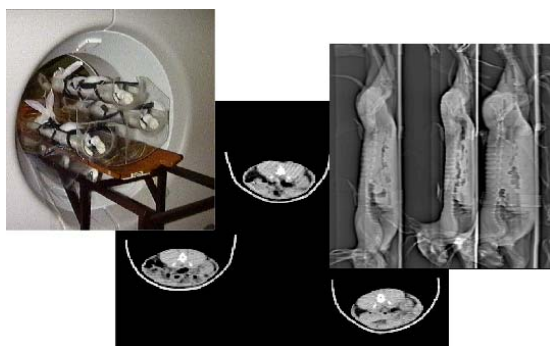
Az alkalmazott módszertan sok tekintetben PhD disszertációm (Romvári, 1996d) eredményeire támaszkodik, illetve az ott leírtak továbbfejlesztésének tekinthető. A vizsgálati lehetőségek körét bővítette a korábban használt Siemens Somatom DRG (SIEMENS AG, Erlangen, Germany), tomográf felváltása a Siemens Somatom Plus S40 (SIEMENS AG, Erlangen, Germany) spirál készülékkel. Az új berendezés egyrészt jelentősen csökkentette a felvételezési, adatkiviteli időt, másrészt az infrastruktúrális fejlesztéseknek köszönhetően megteremtődtek a nappali vizsgálatok feltételei is. Mindezeknek megfelelően a 90-es évek közepére kialakult a standard állat-előkészítés, felvételezés, illetve a CT kép feldolgozás módszertana, figyelemmel az egy állatra jutó vizsgálati idő, ezzel párhuzamosan vizsgálati költség csökkentésére.

### 3.2.1.1. Vizsgálatra történő előkészítés

Az általános részleteket - szállítás, mérlegelés - nem érintve, itt csak az alkalmazott altatási metodikát, illetve rögzítési módokat részletezem. Kisállatok (húsnyúl, brojlersirke, tojóhibrid, májliba) esetében a kísérleti egyedeket, *anaestheticumok* alkalmazása nélkül vizsgáltuk. Miután az üres bélstorna a felvételek értékelését könnyíti, a vizsgálatok előtt, átlagosan 12 órás takarmány megvonást alkalmaztunk.

Az altatás mindig állatorvosi közreműködéssel történt. A továbbiakban megadott rövid ismertetés csak a CT vizsgálatokra érvényes. Abban az esetben, ha MR felvételezés is történt, összetettebb altatási eljárást alkalmaztunk (lásd: 3.2.2.1.), a lényegesen hosszabb vizsgálati időtartamok miatt (5-20 perc vs. 25-60 perc). Vemhes anyanyulak vizsgálatánál 4-5 mg/ttkg xylazint (Rompun, Bayer) adagoltunk *i.m.*. Pulyka vizsgálatoknál az állatok vérmérséklete és mérete szükségessé tette 10 mg/ttkg SBH-ketamin (Produlab Pharma) *i.m.* alkalmazását. A halvizsgálatoknál szegfűszeg olajos kábítást használtunk, ami jól bevált a pontyféléknél, a süllő esetében azonban az állatok elhullásához vezetett. A juhokat a vizsgálat megkezdése előtt 10-15 percel 0.3-0.4 mg/ttkg 2 %-os xylazinnal (Rometar, Spofa) *i.m.* kábítottuk, majd szükség esetén további 0.1 mg/ttkg adaggal segítettük annak fenntartását. Sertések esetében 12-15 mg/ttkg SBH-ketamin és 1 mg/ttkg 2 %-os xylazin keverékét alkalmaztuk *i.m.*.

Az állatokat méretüktől függően eltérő tartókban vizsgáltuk (egy, illetve három férőhely, különböző mérettartomány), hason fekvő helyzetben, kihúzott végtagokkal (madaraknál testhez szorított szárnyakkal). Függetlenül attól, hogy a kísérleti egyedek altatottak voltak-e vagy sem, azokat mindenkor tépőzáras hevederekkel a tartóhoz rögzítettük. Az 2. ábra a kisállatok vizsgálatánál alkalmazott tartó használatát mutatja.



2. ábra Három állat egyidejű vizsgálatára alkalmas tartó használata

### 3.2.1.2. Felvételezés

Vizsgálataink során a Siemens Somatom DRG tomográfot a következő jellemző beállítási értékekkel használtuk: Slice = 2-8 mm, Feed = 2-10 mm, Tube voltage = 125 kV, Dose = 350 mAs, Time = 4 s, Zoom = 1.0-3. Ugyanezen paraméterek a Siemens Somatom Plus S40 típusú készüléken a következő voltak: Soft algorithm, Slice = 2-10 mm, Feed = 2-20 mm, Tube voltage = 125-137 kV, Dose = 120-350 mAs, Time = 1 s, Zoom = 1.0-3.5. A felsorolt paramétereket az állatvizsgálatok kezdetét megelőzően a Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet

orvos és mérnök munkatársaival határoztuk meg, szükség esetén metodikai jellegű mérések eredményei alapján.

A felvételek síkjának kijelölésekor két lehetőség közül választhatunk. Az első alternatíva anatómiai pontokhoz kötött, amikor is jól azonosítható, könnyen megtalálható képleteket - pl. szomszédos csigolyák találkozása - metszenek a felvételek. Előnye a módszernek a pontosság és a jó ismételhetőség. A gyakorlatban hátrányt jelent azonban, hogy sokszor nehéz, lassú az azonosító pont megtalálása, elsősorban a béltartalom, madaraknál a tollazat zavaró hatása miatt. Ez a módszer a spirál CT installálását megelőzően volt jellemző, ugyanakkor a nyúl szelekciós vizsgálatokban egészen 2003 végéig használtuk. Amennyiben valamilyen okból szükséges az anatómiai pontok azonosítása, úgy az új technikával gyorsabb és emiatt olcsóbb

sorozatfelvételek elkészítése, majd azokból utólag a szükséges képek kiemelése. Ezt a közelítést választottuk a 4.1.1.1.2.-es fejezetben leírt vizsgálatoknál. Ehhez hasonlóan jártunk el a 4.1.2.2.2., valamint a 4.1.2.2.3.-as pontban, amikor a sorozatfelvételekből utólag testtájakat, régiókat definiáltunk.

A második lehetőség sorozatfelvételeken alapul. Ilyenkor a vizsgálni kívánt testszelvény határait jelöljük ki, majd ezeken belül készülnek a képek. A CT felvételeket jellemző adat az ún. szeletvastagság. A használt spirál tomográf fizikai felbontása megközelítően 1 mm (képmátrix=512x512, pixelméret=0.98x0.98 mm), a standardként alkalmazott szeletvastagság pedig 10 mm. Ennek megfelelően 10 mm<sup>3</sup>-es az az elemi térfogategység (voxel), amelyről közvetlen röntgensugár elnyelődési értékkel rendelkezünk (a Siemens Somatom DRG felbontása gyengébb, tekintettel a 256x256-os matrix méretre). A felvételek közötti távolság, az ún. lépésköz, a spirál CT vizsgálataink során általában 10 mm (a Siemens Somatom DRG esetében 8 mm). Azonos szeletvastagság és lépésköz teljes átfedést eredményez, azaz a vizsgált teljes testszelvényről közvetlen információt szolgáltat. A disszertáció tárgyát képező kísérletek nagy részében (4.1.1.1.1., 4.1.1.1.3., 4.1.1.1.4., 4.1.2.1.3., 4.1.2.1.4., 4.3., 4.4.3., 4.5.) ezt a megoldást alkalmaztuk.

Ha a szeletvastagságot és a lépésközt csökkentjük, megnő a vizsgálati érzékenység, mivel csökken az egy denzitáserővel jellemzett voxel térfogata. Ezt a közelítést választottuk a 4.1.3. fejezet 3D rekonstrukciókon alapuló vizsgálataiban, amelyben az alkalmazott legkisebb szeletvastagság 2 mm volt.

Sorozatfelvételek esetében, állandó lépésköznél, a kísérleti állat növekedésével párhuzamosan emelkedik a felvételek száma. Ez bizonyos határ felett mind a felvételezést, mind pedig az értékelést lassítja, a vizsgálati költségeket pedig növeli. A megkívánt mérési pontosság figyelembe vételével emelhető a lépésköz, ami a 4.5.2.-es fejezetben összefoglalt vizsgálatokban, a sertés kanok szelekciós célú felvételezésekor 20 mm volt.

Használhatunk állandó felvételszámot, változó lépésközzel kombinálva. Ez a megoldás azzal a komoly előnnyel jár, hogy a különböző testtömegű (korú) egyedek azonos sorszámú felvétele, azonos metszési síkot jelöl. Ezt a módszert alkalmaztuk a 4.1.2.1.1. és a 4.1.2.2.1. fejezetben ismertetésre kerülő nyúlvizsgálatoknál, amikor az 5. nyakcsigolyától a combcsont ízesüléséig mért gerinchosszt 15-tel osztva határoztuk meg a lépésközt. Ilyenkor a két felvétel közötti testszelvény jellemzésére a szomszédos szeletek átlagértékei használhatók.

### **3.2.1.3. Képfeldolgozás**

Az elkészült felvételek értékelése az egyetemi fejlesztésű CTPC, Medimage, illetve az Osiris (Medical Image Analysis Software, 2000-2004) szoftverek segítségével meghatározott adatokon (pl. keresztmetszeti felszín, távolság), vagy a képpontokhoz tartozó röntgensugár elnyelődési értékek gyakorisági eloszlásának további feldolgozásán alapult. Ez utóbbi eljárás hatékonyabbá tételére szolgál a saját fejlesztésű Predictor 2.2 jelű program, illetve az újabb Histocut 2.2-es szoftver.

A pixeldenzitások feldolgozása során általában a HU skála -200 és +200 közötti szakaszát kiemeltük (zsír-víz-izom tartomány) és a szomszédos 10-10 HU értékhez tartozó gyakoriságok összevonásával 40 változót (HUv) képeztünk. Több esetben megváltoztattuk a kiemelési intervallumot, vagy az összevont változók számát, amit a vonatkozó fejezetekben mindig megadok. A képzett változókból egyrészt becslő egyenleteket készítettünk, illetve térhálókat szerkesztettünk (lásd 3.5.), másrészt index értékeket határoztunk meg (4.1.2.1.).



Utóbbiak használata közvetlen térfogatos becslésnek tekinthető, amennyiben például a (HUv22- HUv40 / HUv1- HUv18) hányados az izom/zsír arányt fejezi ki.

A morfológiai viszonyok 3D rekonstrukciókra alapozott vizsgálata a 3D-Doctor 2.0 (Able Software, 1998-99) alkalmazásával történt (4.1.3.).

### 3.2.2. MRI vizsgálatok

A vizsgálatok 1999-ig (4.2.) Siemens Magnetom SP 63 1.5 Tesla térerejű tomográf-fal (SIEMENS AG, Erlangen, Germany), majd annak cseréjét követően Siemens Magnetom Vision Plus 1.5 Tesla (SIEMENS AG, Erlangen, Germany) berendezéssel (4.3., 4.4., 4.5.) történtek. Metodikai szempontból a vizsgálatok közös jellemzője volt a humán vizsgálati módszertan adaptálása, a Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet orvos és mérnök kollégáinak hathatós támogatásával.

#### 3.2.2.1. Vizsgálatra történő előkészítés

Hasonlóan a CT vizsgálatokhoz itt is átlagosan 12 órás takarmánymegvonást alkalmaztunk. A nyulakat 4 mg/ttkg xylasin (Rompun, Bayer) *i.m.* adagolásával bódítottuk. A brojler vizsgálatoknál 20 mg/ttkg Calypsovet-et (ketamin tartalom 100 mg/ml, Richter) használtunk.

A 4.5.3.-as fejezetben ismertetett sertés CT és MRI vizsgálatok egy altatásban történtek. A premedikációhoz kombinált narkózist használtunk 12-15 mg/ttkg SBH-ketamin (Produlab Pharma) és 0.2 mg/ttkg 2 %-os xylazin (Rometar, Spofa) keveréket *i.m.*. A premedikációt követően 2.5-3.0 tf %-os isoflurán gáz (Foran, Abbott Lab.) maszkos inhalációt alkalmaztunk a relaxáció eléréséig. A mélyalvási állapot elérése után az állatokat intubáltuk, majd altatógépre (Penlon párologtató, Ohmeda O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>O áramlásmérő-szabályozó) kapcsoltuk, félig nyílt rendszer alkalmazásával. Miután a berendezés MRI inkompatibilis volt, az altatógépet az MR vizsgálaton kívül helyeztük el, a gázkeveréket egy 4 m hosszú flexibilis cső vezette az állatokhoz. Az MRI vizsgálatához szükséges tartós narkózist 1.5-2.0 tf %-os isoflurán gáz és oxigén vivőgáz keverékével értük el (0.14 (malac) - 0.28 (felnőtt) ml/perc). Az ébresztés előtt az egyedek 1 %-os acepromazin (Vetranquil, 1 mg/ttkg) stresszoldó, nyugtató injekciót kaptak izomba. A juh vizsgálatoknál hasonló megoldást választottunk. A premedikációhoz 0.2 mg/ttkg 2 %-os xylazint alkalmaztunk *i.m.* a majd 3 tf %-os isofluránt adagoltunk a relaxáció eléréséig, illetve 1.5 tf %-os isoflurán gáz és oxigén keveréket a tartós narkózishoz. Pulykáknál Olkowski és Classen (1998) módszere szerint isofluran és oxigén gáz keverékével végeztünk maszkos inhalációt, a sertés és a juh vizsgálatoknál is használt altatógéppel. A bevezető szakaszban 5 tf % Isoflurán gázt alkalmaztunk, majd a folyamatos, mély narkózishoz 1.2-1.6 tf % Isofluránt adagoltunk O<sub>2</sub> vivőgázban. Az altatás után tiszta O<sub>2</sub>-t lélegeztettünk, egyedtől függően 3-5 percig. A teljes ébredésig a madarak temperált hőmérsékletű egyedi ketrecekben voltak elhelyezve.

A kísérleti állatok - mindenkor egyedi - rögzítése a CT felvételezésnél leírtak szerint történt, MRI kompatibilis tartókban.

#### 3.2.2.2. Felvételezés

A nyúl vizsgálatoknál a kísérleti állatokat ún. térd tekercsbe helyeztük. Először axiális síkú lokalizációs felvételek készültek gradiens echo szekvencia alkalmazásával. Ezt követően a teljestestet lefedő *coronalis*, *saggitalis* és *transversalis* síkú felvételek készültek T1 súlyozott spin echo szekvenciával, 6, 8, és 10 mm-es szeletvastagsággal (TE: 15 ms, TR: 400-800 ms, a szeletszámtól függően). A brojlercsirkéket test tekercsben vizsgáltuk, az alkalmazott

szekvenciák megegyeztek a nyúlvizsgálatokban használtakkal. Egyedüli eltérésként itt a *coronalis* síkban is 8 mm-es szeletvastagságot alkalmaztunk.

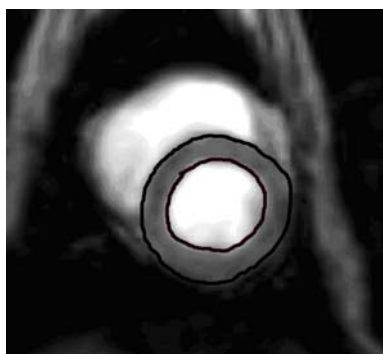
A sertés féltetek felvételezésekor a megfelelő szekvencia kiválasztását metodikai vizsgálatok előzték meg. Ennek alapján 7 blokkban, egyenként 23 felvétel készült, ami alatta marad a technikailag lehetséges 39-nek, azonban figyelembe vette a mágneses tér inhomogenitását, valamint a geometriai deformitást is. Az alkalmazott szekvencia jellemzői a következők: TE: 6 ms, TR: 500 ms,  $\theta$ : 90°, FoV: 500 mm, Mátrix méret: 384×512 pixel, SL Thc: 8 mm, SL gap: 0.25 mm.

A szívvizsgálatokat a Siemens Magnetom Vision Plus 1.5 Tesla térerősségű berendezéssel (SIEMENS AG, Erlangen, Germany), EKG-vezérelt MRI szekvenciák segítségével végeztük. A felvételezés során először lokalizációs felvételeket készítettünk a szív helyeződésének, majd hossztengetyének megállapítására. Utóbbi a szív rövidtengetyének pontos meghatározásához nélkülözhetetlen, mely síkban, a szívcsúcstól a bázisig, a szívüregekről készültek a sokszeletes - többfázisú, teljes szív ciklust lefedő dinamikus MRI felvételek. A 4.4.1., 4.4.2. és 4.5.2. fejezetekben ismertetésre kerülő vizsgálati szekvenciák kidolgozására Repa Imre professzor, a Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet igazgatójának irányításával került sor.

### 3.2.2.3. Képfeldolgozás

A Siemens Magnetom SP 63-as tomográfal készült felvételek értékelését az MRPC szoftverrel végeztük (Kövr és Berényi, 1995). A Siemens Magnetom Vision Plus berendezéssel készített, DICOM formátumú felvételek feldolgozását az Osiris 4.18 (Medical Image Analysis Software, 2000-2004), valamint a Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet saját fejlesztésű Medimage (Závoda, 2000) programjára alapoztuk. A képfeldolgozás során a képpontokhoz tartozó szűrkeségi skálaértékeket rögzítettük.

A szív MRI vizsgálatok értékelését részben a MASS 4.0 szoftverrel (Magnetic Resonance Analytical Software System, 1994-2000) (4.4.1., 4.4.3.1.), részben pedig a fent említett Osiris 4.18 programmal végeztük (4.4.2., 4.4.3.2., 4.5.2.).



**3. ábra** A szív hossztengetyére merőleges felvétel a balkamrai *endo*- és *epicardium* bejelölésével

A felvételek posztprocesszálása során a balkamrai *epi*- és *endocardiumot*, valamint a balkamrai *papillaris* izmokat definiáltuk (3. ábra). A képfeldolgozásnál meghatároztuk a balkamrai térfogatokat, majd a végdiasztólés és végszisztólés térfogatok különbségéből kiszámítottuk a verőtér fogat értéket. Ezt követően a verőtér fogat és végdiasztólés térfogat százalékos arányából megadtuk az ejekciós frakció értéket. A balkamrai tömeget a következő módon határoztuk meg: *epicardium* területe – *endocardium* területe + *papillaris* izmok  $\times 1.05$  (g/cm<sup>3</sup>). A verőtér fogat és szívfrekvencia szorzataként számítottuk a perctér fogat értékeket. Az

átlagos falvastagság értékeket az *atrioventricularis* billentyű alatt 9 mm-el mértük a *septumnál*, valamint az elülső, az oldalsó és a hátsó oldalon.

### 3.3. Probavágás

A húsnyulak vágását és a karkasz darabolását Blasco és mtsai (1993) módszerével végeztük. A brojlercsirke vizsgálatoknál a vágott testek darabolása Jensen (1983) szerint történt. A pulykán végzett kísérletek során mértük a filézett mell, az abdominális-, valamint a zuza körüli zsír súlyát. A halak probavágásánál a Ponty Teljesítményvizsgálati Kódex (OMMI, 2001) előírásait alkalmaztuk. A sertés féltestek vizsgálatakor részletes, ún. kulmbachi darabolás történt (Scheper és Scholz, 1985). A bacon jelleg vizsgálatakor a színhústartalom meghatározását az EU-referencia módszerrel végeztük (Council Regulation N.3220/84).

### 3.4. Kémiai analízis

A teljestest (mindenkor úgynevezett ürestest) kémiai összetételének meghatározására irányuló vizsgálatokban (4.1.2., 4.2.) a teljestest nyersfehérje, nyerszsír, nyershamu tartalmát a KE ÁTK Kémiai Intézetében határozták meg. A teljestest homogenizátumból - autoklávos mintaelőkészítést követően - a szárazanyag tartalmát a 105 °C-on súlyállandóságig történő szárítással, a nyerszsír-tartalmat Stoldt módszer szerint, a nyersfehérje tartalmát Kjeld-Foss 16200 típusú nitrogén analizátorral mérték (Nx6,25). A nyershamu tartalmát a magyar szabvány szerint (MSZ 6830/8-85) határozták meg a minták 550 °C-on három órán keresztül történő hamvasztását követően. A 4.1.4. fejezetben ismertetett libamáj vizsgálatok során a nyersfehérje és nyerszsír tartalmát az ÁTK Élettani Osztályán határozták meg a fentiekben megadott módszerrel.

### 3.5. Alkalmazott biometria módszerek

A szöveti eloszlást vizsgáló háromdimenziós hisztogramok szerkesztése a negatív exponenciális interpoláció módszerével történt. A vágási- és a kémiai analízis eredményei, valamint a CT adatok közötti korreláció számításokat Pearson szerint végeztük. A regressziós vizsgálatokban lineáris és exponenciális közelítést alkalmaztunk, a modell hibájának vizsgálatára variancia analízist végeztünk, végül megadtuk a determinációs koefficiens is. A testösszetétel-bebecslésére szolgáló egyenleteket az MGLH (multiple regression, general linear hypothesis) stepwise módszerével, főkomponens analízissel (PCA), illetve PLS (Partial Least Squares, másnéven Projection to Latent Structures) regresszióval készítettük.

Utóbbi eljárás a spektrumokból történő információnyerés egyik legmodernebb matematikai módszere. Miután felismertük, hogy a Hounsfield értékek gyakorisági eloszlása erős hasonlóságot mutat egy spektrális eloszlással, e módszert alkalmaztuk a libamáj zsírtartalmának, valamint a sertés karkasz színhústartalmának meghatározásakor. A módszer lényege, hogy a sok, egymással csoportonként erősen korreláló változóból (spektrumvonalak, denzitásértékek) főkomponens analízis segítségével az információt néhány „főkomponens változóba” koncentráljuk. A PLS módszer annyiban tér el a hagyományos PCA-tól, hogy itt a célváltozót is figyelembe vesszük az extrakciónál. Ennek megfelelően az első főkomponens tehát nem egyszerűen az, amelyikben a legmagasabb a variancia %-a, hanem az, amelyikben a legmagasabb a célváltozóval rokon variancia %-a. Elvileg a főkomponensek száma azonos lenne az eredeti változók számával, de a gyakorlatban rendszerint 3-7 főkomponensben tömörül az információ 99 %-a. Így végül a regressziószámítást a néhány főkomponens változóval végezhetjük el, anélkül, hogy a regressziós egyenletünk „túlhatározott” lenne, hiszen a számított főkomponensek egymásra ortogonálisak.

A sertés szelekciós kísérletekben alkalmazott variancia analízisek elvégzése után a csoportok közötti eltérések szignifikanciáját LSD teszt segítségével vizsgáltuk. A biometria számítások elvégzésére általában az SPSS 10.-es szoftvert (SPSS Inc., 1999) használtuk. A PLS

regressziót az Unscrambler csomaggal (SCIA, 2003) futtattuk. A statisztikai próbákat legtöbbször  $P=0.05$ -ös szinten számoltuk, az ettől való eltéréseket minden esetben megadjuk. Az adatok szóródását általában az SD értékkel jellemeztük és az átlagérték után  $\pm$  jelöléssel közöljük. A háromdimenziós hisztogramok szerkesztését a SYSTAT 5.01 -es szoftver NEXPO algoritmusának segítségével végeztük (SYSTAT, 1990).

## 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az egyes kísérleteket a vizsgálati módszer szerint csoportosítva mutatom be. Ezen belül alpontokban szerepelnek az egyes állatfajokkal végzett vizsgálatok, azok eredményei és értékelésük.

### 4.1. Testösszetétel *in vivo* meghatározása CT-vel

A növekedés és testösszetétel vizsgálata alapvetően kétféle módon közelíthető meg. Leírható kémiai értelemben, amennyiben az ürestest (teljes testtömeg - béltartalom) négy komponensből proteinekből, hamuból, vízből és lipidekből áll. Jellemezhető ugyanakkor egyfajta anatómiai közelítéssel, amikor a különböző szervek és szövetek összetételének változásait követjük. Ez utóbbi leírást egyszerűsíti a vágás során alkalmazott kategorizálás, amely a karkasz súly mellett a színhús-, a csont és a zsírtartalom alapján jellemzi a testösszetételt. A továbbiakban bemutatásra kerülő kísérletek mindkét módszert felhasználják.

#### 4.1.1. Teljestest szöveti összetételének (izom-zsír) vizsgálata

##### 4.1.1.1. Szöveti eloszlás vizsgálata 3D hisztogramokkal

Korábbi – a Ph.D. értekezésben közölt – vizsgálatok során először egy felvételtől, majd sorozatfelvételekről készült gyakorisági eloszlásokkal jellemeztük egy adott testtáj, vagy a teljestest szöveti összetételét. A hisztogramok vagy egy vizsgálati időpont jellemzőit, vagy két mérési pont között bekövetkező változásokat mutatták. Ezt követően, a képfeldolgozás módszertanának további fejlesztésével, a gyakorisági eloszlási értékekre, biometriaival módszerekkel burkoló felületet illesztettünk. Jelen disszertációban általában az utóbbi – a negatív exponenciális interpoláción – alapuló közelítést használjuk. A módszer először húsnýulon került bemutatásra, a 0.5 és a 3.5 kg-os testsúly tartományban bekövetkező szöveti összetétel változások jellemzésére (Romvári és mtsai, 1996c).

##### 4.1.1.1.1. Testösszetétel változás anyanyulakban a vemhesség alatt

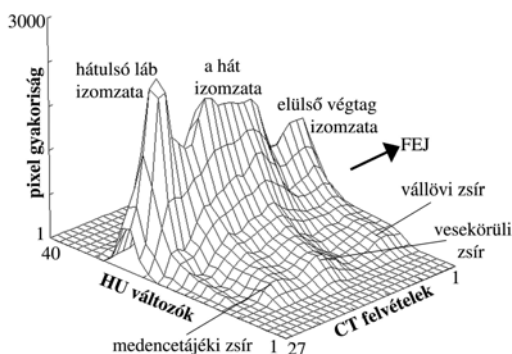
Ismert, hogy az anyanyulak testösszetételét jelentősen befolyásolja a vemhesség és a laktáció (Parigi-Bini és mtsai, 1992, 1996; Xiccato és mtsai, 1995). A vemhesség 21. napjától a vehem növekedése felgyorsul és az anyai tartalékok progresszíven csökkennek (Parigi Bini és mtsai, 1990). A vehem kezdeti exponenciális növekedése a 23. naptól folyamatosan lineárisává változik (Prud'hon és Selme, 1973) és az anya takarmányfelvétele folyamatosan csökken, köszönhetően a növekvő méretű méh tartalomnak. Az általánosan etetett takarmány (10-12 MJ DE/kg) négy magzatnál nagyobb vehem esetén már nem fedezi az anya aktuális szükségletét és ennek megfelelően az anya a test tartalékait mobilizálja (Kamphues, 1985).

A kísérletben összesen 43 még nem fialt Pannon fehér anyanyúl vett részt, *ad libitum* takarmányozás mellett. Öt hónapos életkorban (ttm  $3854 \pm 198$  g) huszonhét egyedet mesterségesen termékenyítettünk, közülük 17 vemhesült. A vemhes anyák CT felvételezésére az inszemináláskor, a vemhesség 14., 21. és 28. napján, illetve a fialás után néhány órával került sor. Ugyanezen időpontokban a kontrollként használt 26 „üres” anyát is vizsgáltuk. A vállöv és a térdizület között 27 felvétel készült minden egyedről, 8 mm-es szeletvastagsággal és ugyanakkora lépésközzel.

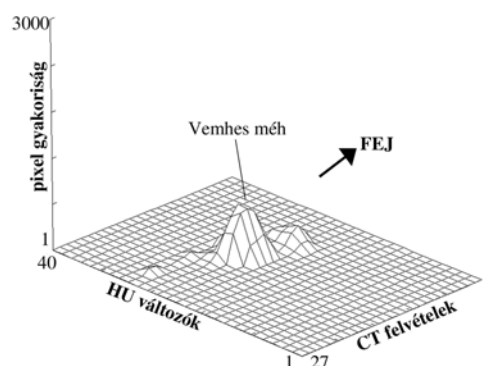
A kísérleti periódus első 16 napján az üres és a vemhes anyák takarmány felvétele megegyezett ( $189 \pm 39$  és  $187 \pm 41$  g/nap), annak ellenére, hogy az idő előrehaladtával a vemhes állatok csoportjában enyhe fogyasztás növekedést tapasztaltunk. A nem vemhes egyedek

csoportjában is nőtt az átlagos takarmányfelvétel és testsúly, köszönhetően annak, hogy ezek a fiatal nőivarú állatok még nem érték el kifejelettkori testsúlyukat (Parigi Bini és mtsai, 1995). A magzati szöveti beépülés felgyorsulását követően a vemhes anyák takarmányfelvétele elmaradt a kontroll egyedekétől. Az eltérés a vemhesség 25. napjától szignifikánsnak ( $P < 0.001$ ) bizonyult ( $140 \pm 42$  és  $184 \pm 30$  g/nap, a vemhes, illetve az üres anyáknál). A teljes 29 napos vizsgálati periódust vizsgálva minden egyed testsúlya nőtt, ugyanakkor nem volt különbség a két csoport között. Fialás után szignifikáns különbség alakult ki ( $P < 0.001$ ), amennyiben a kontroll csoport állatainak élősúlya ( $4363 \pm 261$  g) meghaladta a kísérleti egyedekét ( $3907 \pm 294$  g), amelyek induló súlyukra tértek vissza.

Az 4. ábra az anyák testösszetételét mutatja a termékenyítés napján. A bemutatott 3D hisztogramok X tengelyén a felvételek sorszámát (1-27), az Y tengelyén (1-től 40-ig számozva) a HU változókat, a Z (függőleges) tengelyén pedig az egyes denzitáértékekhez tartozó pixelgyakoriságot ábrázoltuk. Az izomszövet denzitás tartományában (HUv 23-40) három jól elkülönülő csúcs figyelhető meg, melyek az elülső végtag, a középső rész (*m. longissimus dorsi*) és hátsó végtag izom mennyiségét mutatják. A zsírszövet tartományában (HUv 1-18) három kisebb csúcs reprezentálja a vállövi, a vesekörüli, illetve a medence tájéki zsírdepókat.



**4. ábra** Anyanyulak testösszetétele a megtermékenyítés napján

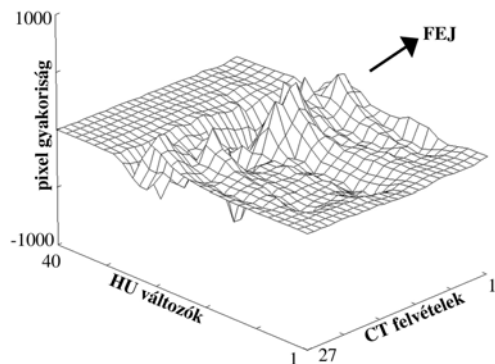


**5. ábra.** Testösszetétel változás a vemhesség 21. és 28. napja között

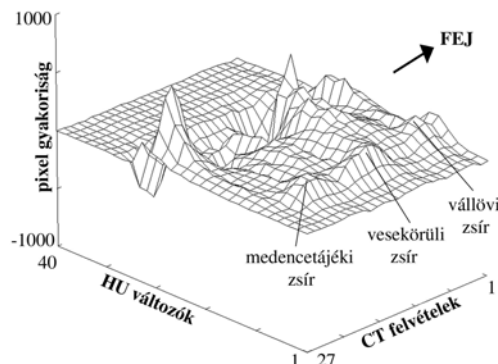
A vemhesség első 14 napján a testösszetételben csak minimális különbségek látszanak, ugyanakkor a 21. és 28. nap között markáns csúcs jelentkezik az abdominális tájékon (5. ábra). A megjelenő új struktúra meglehetősen heterogén, tartalmazza az uterust (leginkább símaizom), a placentát, az amnion és az allantois folyadéktartóit, továbbá a különböző magzati szöveteket. Bár ezen szövetek denzitás standardjai hiányoznak, ismert, hogy proteinekben és - az uterus kivételével - vízben gazdagok, ugyanakkor gyakorlatilag zsírtól mentesek. Ennek megfelelően a vemhes a vízdenzitáshoz közel, az anyai izom denzitás határán helyeződik el a HU skálán.

A 6. ábrán lévő hisztogram egy olyan komplex ábrázolás, amelyen a fialást közvetlenül követő állapot és a vemhesség 21. napján mért testösszetétel különbsége látható. Ezen az ábrán egy mélyedés (negatív csúcs) mutatja a vemhes méh helyeződését, ugyanakkor a mellkasi és hasi területen jelentkező, a vízhez közeli denzitás tartományban látható kiemelkedés a tejszekréció megindulására utal. A vemhesség utolsó harmadában a test tartalékainak mobilizációját jelzi a három zsírdepó területén megfigyelhető szöveti térfogat csökkenés. A vemhes anyanyulak energia egyensúlya negatív, tekintettel arra, hogy az önkéntes takarmány fogyasztással felvett energia ezen egyensúly fenntartására nem elegendő (Xiccato és mtsai, 1992). Ezzel szemben a kísérleti periódus alatt, a kontroll, nem vemhes

anyai csoport zsírt akkumulált a vállövi-, a vesekörüli- és a medencetájéki depókba (7 ábra), továbbá izombeépülés figyelhető meg a végtagokon is. A 6. ábrához képest eltérés, hogy itt nem látható a tejszekréció megindulására utaló csúcs.



**6. ábra** Testösszetétel változás a vemhesség 21. napja és a fialás utáni állapot között



**7. ábra** Nem vemhes anyák testösszetétel változása a teljes kísérleti periódus alatt

Az eltérő fiziológiai státuszokra jellemző zsírtartalom meghatározását ún. zsírindex segítségével végeztük, aminek eredményeit a 4.1.2.1.1. fejezet tartalmazza.

Jelen vizsgálatban elért eredmények összhangban vannak a korábbi – klasszikus próbavágáson alapuló – megállapításokkal (Parigi Bini, 1988; Parigi Bini és mtsai, 1990; Xiccato és mtsai, 1995). A vizsgálat első két hetében a zsírdepozíció és az izombeépülés tekintetében a vemhes és üres anyák csoportja alig különbözik. A vemhesség utolsó harmadában ugyanakkor intenzív zsír mobilizáció jellemző a vemhes anyai szervezetre, annak érdekében, hogy az a magzatok gyorsuló növekedését biztosítani tudja. Hasonló tendenciát írt le Sorensen (1992) vemhes és szoptató kecskén végzett, a CT felhasználásán alapuló kísérletében.

#### 4.1.1.1.2. Brojlercsirke testösszetételének vizsgálata a növekedés során

Az elmúlt ötven év szelekciójának hatására a hústípusú csirkék testösszetételében és testalakulásában rendkívül jelentős változások következtek be. Amíg az 1950-es években 12 hét kellett az 1.8-2.0 kg-os vágósúly eléréséhez, addig napjainkban ennek kevesebb, mint a fele. Havenstein és Ferket (2002) szerint az utolsó évtizedben a genetikai és a takarmányozási hatások együttesen 31, illetve 99 g/év testsúlynövekedést eredményeztek 42, illetve 84 napos életkorra számolva. A várható teljesítmény további növekedésre ad középtávú becslést Savory (2002). Számos adat áll rendelkezésre a piaci vágósúly eléréséig tartó életszakasról, ugyanakkor alig néhány közlemény foglalkozik brojlerek vizsgálatával az ún. rooster kor felett. Grey és mtsai (1982) Ross 1. brojler vonalat vizsgáltak 364 napos életkorig. Sørensen és Ducro (1995) hosszútávú vizsgálatban jellemzték a kísérleti vonalaik növekedését és kémiai összetételét. Hancock és mtsai (1995) kereskedelmi forgalomban lévő genotípusok növekedését írták le Gompertz függvénnyel 26 hetes életkorig.

Saját kísérletünkben brojlercsirke növekedésének jellemzőit Arbor Acres (AA) Regular genotípuson 18 hetes életkorig, ivaronként vizsgáltuk. A brojlerekről nagyságtól függően egyedenként 16-30 CT felvétel készült. A sorozatfelvételek közül, a különböző méretű egyedek összehasonlíthatósága érdekében 16 meghatározott anatómiai ponton készült felvételt választottunk ki, majd a felvételek feldolgozása során a korábban ismertetett módon 40 HU változót képeztünk. Az izom- (mell, comb) és a zsírszövet (abdominális, nyaktájéki) testtájankénti beépülését három vizsgálati időpontban, 6, 12 és 18 hetes életkorban 3D

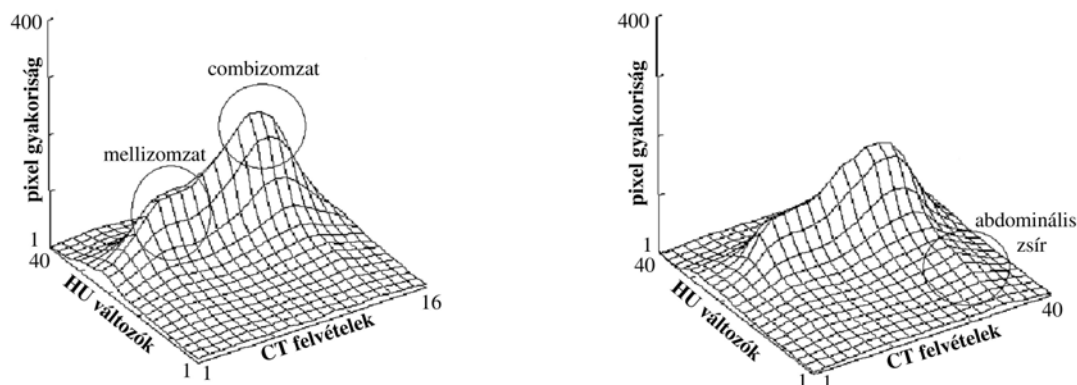
hisztogramokkal modelleztük. Érdeklődésünk elsősorban arra irányult, hogy a vizsgált modern genotípus a standard vágósúly felett milyen növekedési sajátosságokat és ivari különbségeket mutat.

A brojlercsirkék CT vizsgálati időpontokhoz tartozó alapadatait az 2. táblázat tartalmazza, ahol a zsírszövet térfogat meghatározása a  $\Sigma\text{HUv}$  1-18, az izomszöveté pedig  $\Sigma\text{HUv}$  22-40 kifejezés alapján történt.

**2. táblázat Az élősúly, valamint a szöveti összetétel változása AA Regular brojlerекnél (n=6, ivaronként)**

Vizsgált tulajdonságok		Élethét					
		6		12		18	
		Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Élősúly (g)	♂	1741	41.2	3473	65.3	5216	121.1
	♀	1458	42.2	2933	64.2	4096	95.0
Test zsírtérfogata (cm <sup>3</sup> )	♂	293	22.1	561	29.9	990	83.4
	♀	296	27.1	720	91.9	1377	199.5
Teljestest izomtér fogat (cm <sup>3</sup> )	♂	963	57.8	1988	40.1	2956	129.7
	♀	791	25.3	1622	83.2	2032	131.2

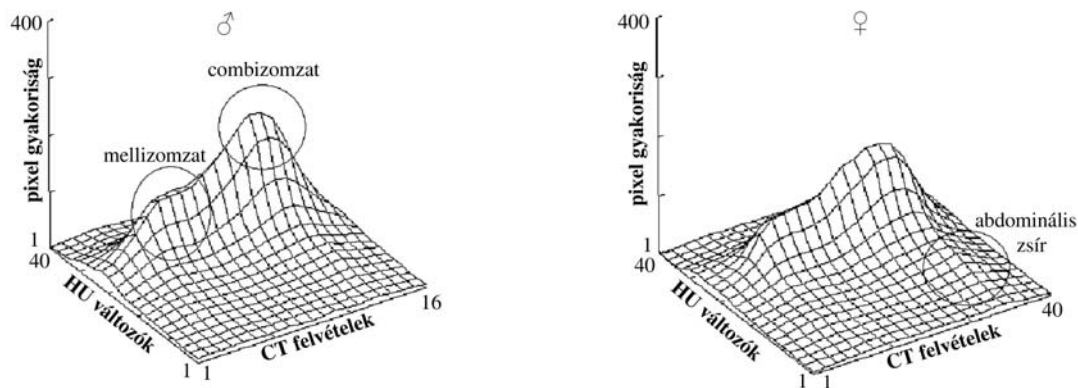
A továbbiakban bemutatásra kerülő ábrákon a jobb összehasonlíthatóság érdekében mindhárom tengelyen azonos léptéket használtunk. Hathetes korban a hisztogram jelentősebb kiemelkedései elsősorban az izomtartományban figyelhetők meg. A két jól érzékelhető csúcs közül az első a mellizomzat és a szárny (2-4 scan), a második a comb és a farhát (8-15 scan) területét jelöli. Az ivarok között már ebben az életkorban is észlelhető bizonyos eltérés, mind az abdominális zsír, mind pedig a comb- és a mellizomzat mennyiségében. A kakasok izom térfogata (HUv 22-40) nagyobb volt, mint a nőivarú egyedeké. Nőivarban ugyanakkor az abdominális zsír (HUv 1-18) magasabb depozícióját figyeltük meg (8. ábra).



**8. ábra AA Regular brojlerекről 6 hetes életkorban készült 3D hisztogramok hím- és nőivarban**

Tizenkét hetes korban az ivarok között két határozott eltérés állapítható meg (9. ábra). Hímivarban a comb izomzata képviselt nagyobb hányadot, ugyanakkor nőivarban a mell- és combizom aránya kiegyensúlyozottabb maradt.

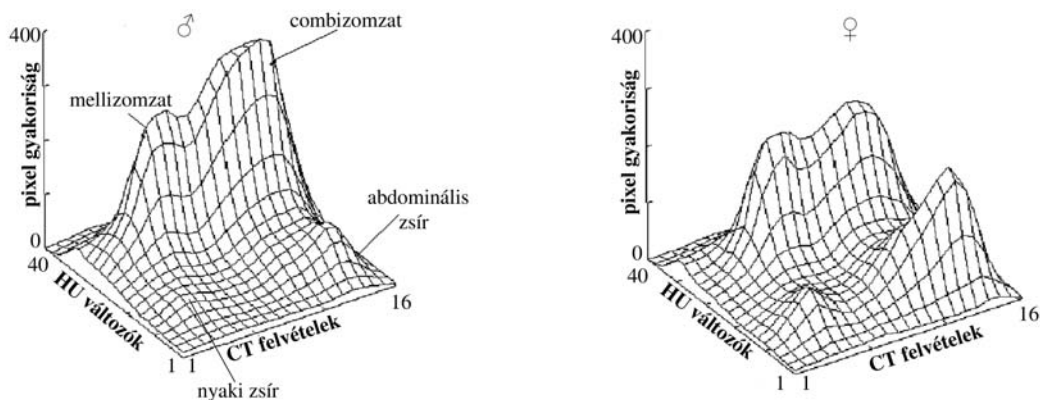




**9. ábra AA Regular brojlerekről 12 hetes életkorban készült 3D hisztogramok hím- és nőivarban**

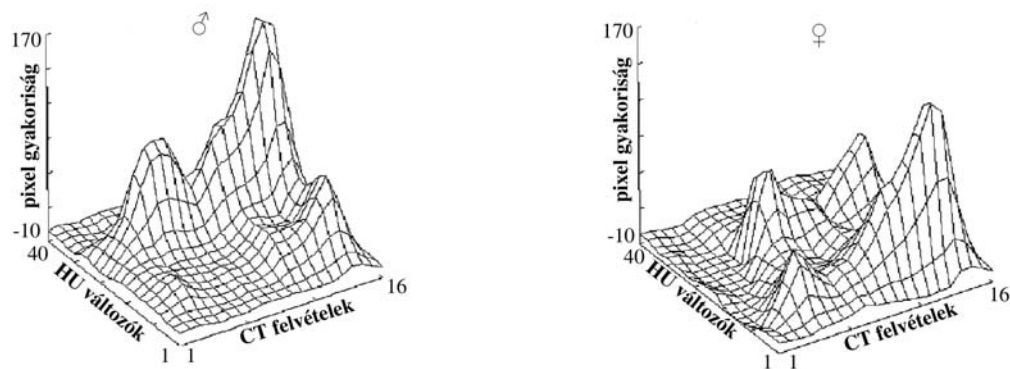
Nőivarban a 3D domborzat feltűnő kiemelkedései a HUv 6-12 terjedő tartományban, jelentősebb zsírdepozíciót jeleznek a hasúri régióban (10-14 scan). Ezen kívül megfigyelhető egy újabb, nyaktájéki zsírdepó megjelenése is.

Tizennyolc hetes korban a test szöveti összetétele hasonló képet mutat, mint az azt megelőző összehasonlítási pontban. Hímivarban mind a comb-, mind pedig a mellizomzat további növekedése figyelhető meg, ezzel szemben nőivarban az izombeépülés lelassult. A teljestestben fokozódott a zsírdepozíció, aminek eredményeként nőivarban (10. ábra) mind az abdominális, mind pedig a nyaktájéki zsír mennyisége (2-4 scan) a 12 hetes érték csaknem kétszeresére nőtt. Ebben a növekedési periódusban már a hímivar zsírdepozíciós üteme is kifejezettebb, mennyisége és eloszlása a nőivar 12 hetes kori állapotával hasonlítható össze.



**10. ábra AA Regular brojlerekről 18 hetes életkorban készült 3D hisztogramok hím- és nőivarban**

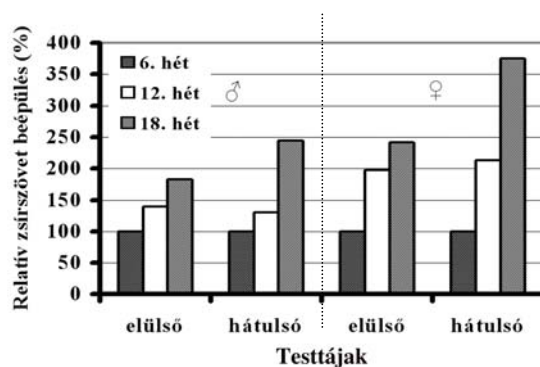
Az adott időpontokhoz tartozó 3D térhálók különbsége jól mutatja a szöveti összetételben bekövetkezett változásokat. Az 11. ábrán - ami a 12 és 18 hetes kort jellemző 3D hisztogramok különbsége - megfigyelhető, hogy ebben az életszakaszban az izombeépülés a comb, illetve a far-hát területen (8-16 scan) hímivarban sokkal kifejezettebb volt, mint a mellrégióban (1-7 scan). Nőivarban az izombeépülés kiegyenlítettebb, de lényegesen visszafogottabb volt, ugyanakkor a teljestest, illetve ezen belül különösen a hasúri régió elzsírosodása figyelhető meg.



**11. ábra** AA Regular brojlerok izom és zsírszövet beépülése 12 és 18 hetes kor között hím,- és nőivarban

A 18 hetes hizlalási periódus során három azonos hosszúságú növekedési szakaszt jellemeztünk sorozatfelvételeken alapuló 3D hisztogramok segítségével. A képfeldolgozás eredményei alapján megállapítható, hogy a standardnak tekinthető vágósúly eléréséig (6. hét) mindkét ivarban elsősorban az izomszövet beépülése jellemző. A hímivar izombeépülésének mértéke minden vizsgált időpontban meghaladta a nőivarét, a comb és a far-hát tájék izomfejlődése a vizsgálat teljes időtartama alatt (18 hét) erőteljesebb volt a mellizomzat beépülésénél, míg nőivarban az izombeépülés mindkét régióban kiegyensúlyozottabbnak bizonyult. Tizenkét hetes kortól a nőivar abdominális zsírdepozíciója nagymértékben felgyorsult és 18 hetes korig folyamatosan tovább nőtt. Számottevő nyaktájéki zsírdepót az utolsó vizsgálati időpontban találtunk, ami a 12 és 18 hetes kor közötti erős elzsírosodásra utal.

Az ábrázolt 3D térhálók alatti térfogat arányos a vonatkozó szövet mennyiségével. Ennek megfelelően a zsírszövet térfogatossági mérési lehetőségét mutatja a 12. ábra oszlopdiagramja. A feldolgozás során a teljes testet két azonos régióra - elülső (1-8 scan) és hátsó (8-16 scan) - osztottuk, majd régióként összegeztük a HUv 1-20 változókhoz tartozó, a zsírra jellemző voxel értékeket. Az ábrázoláskor viszonyítási alapnak, 100 %-nak tekintettük a 6 hetes életkorhoz tartozó zsírszövet  $\text{cm}^3$ -ben mért mennyiségét.



**12. ábra** AA Regular brojlerok relatív zsírszövet beépülése ivaronként és testtájanként 6., 12. és 18. élethét között

A grafikonon jól érzékelhető az elülső, illetve a hátsó testfél eltérése a zsírdepozíció tekintetében. Határozott különbséget állapítottunk meg az ivarok között a zsírdepozíció mértékében a 18. hétig; hímivarban 1.8-, illetve 2.4-szeresére nőtt a beépült zsír mennyisége, míg ugyanezek az értékek nőivarban 2.4-, illetve 3.8-szorosra változtak a vizsgálati időintervallumban.

Jól ismert a pozitív kapcsolat a testsúly és a zsírdépozíció között. A vágott test és a hasúri zsír súlya közötti összefüggés nőivarban a szorosabb (Nazligul és mtsai, 1993). Eredményeink szerint az életkor előrehaladtával mindkét régióban folyamatosan nőtt a zsírtartalomban mért különbség az ivarok között. Hasonló eredményre jutottak Leenstra és mtsai (1986) próbavágáson alapuló vizsgálataikban.

#### 4.1.1.1.3. BUT Big 6 és bronzpulyka összehasonlító vizsgálata

A pulyka egyike azon gazdasági állatoknak, amelynél a hústermelőképesség növelésére irányuló szelekció a legeredményesebb volt. Horn és mtsai (2000) szerint az elmúlt harminc évben mutatott teljesítményjavulásban nagyobb szerepe volt a genetikai tényezőknek, mint a takarmányozásnak. Teljesítményvizsgálati adatok szerint 1973 és 2000 között a 16 hetes kori élősúly mindkét ivarban 75 %-kal nőtt. Hús 7 hetes korban vizsgálva nőivarban 72, hímivarban pedig 74 %-os az előrehaladás (Sütő és mtsai, 2001). A korai növekedésre irányuló szelekció erőteljesebben növelte a mellizomzat tömegét a combok tömegéhez képest (Havenstein és mtsai, 1988). Ez a folyamat változásokat okozott a teljestest arányaiban, illetve anatómiai jellemzőiben. Ugyanakkor a szelekció következtében a hústermelés mellett, a zsírok depozíciója is erőteljesebbé vált. Nestor (1982) 14 generáción keresztül testsúlyra szelektált pulyka vonalakat, aminek következtében a 16 hetes korban, vegyesivarban mért zsírdépozíció a duplájára nőtt, úgy hogy a nőivar vonatkozó értéke háromszorosa volt a hímivarénak.

Pulykában a teljestest izom és zsírtartalom vizsgálatát, illetve ezen szöveti összetevők testen belüli elhelyezkedését az előző alfejezetben, a brojlecsirkénél már ismertetett módszerrel végeztük. Kísérletünkben arra kerestünk választ, hogy a bizonyos értelemben szelekciós kiindulópontnak tekinthető bronzpulyka és a mai modern nagytestű hibridek növekedésében milyen eltérések detektálhatók *in vivo* CT vizsgálatokkal.

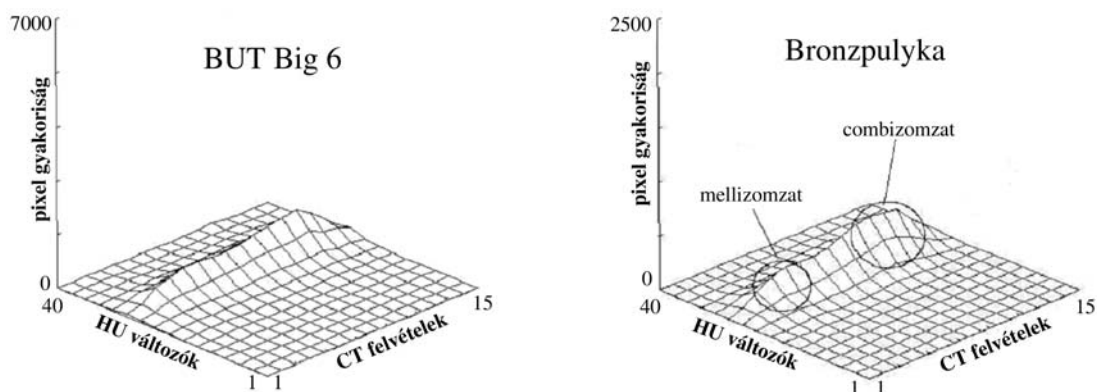
A 3. táblázat az élősúly és a mellizom térfogat változását szemlélteti a vizsgált időpontokban. Az életkor előrehaladtával párhuzamosan mindkét genotípusban 12 hetes korig nőtt a színhústartalom (BUT 62 %, bronzpulyka 47 %-kal). A bronzpulykában 12 és 21 hetes kor között nem volt változás, ugyanakkor a BUT esetében enyhén csökkent a testben az izomszövet százalékos aránya (60 %), ami részben a későbbiekben tárgyalandó elzsírosodással magyarázható. A modern hibridnek minden időpontban megközelítőleg 5-12 %-kal nagyobb volt a színhús tartalma úgy, hogy mindeközben folyamatosan nőtt, 21 hetes korra pedig megháromszorozódott a testsúlyban mért fölénye.

**3. táblázat. BUT Big 6 és bronzpulyka genotípusok élősúlya és mellizom térfogata 5, 12, 16 és 21 hetes korban (n = 6 – 6; S-Élősúly (kg), T- térfogat (dm<sup>3</sup>))**

Geno-típus	Ivar	5 hetes		12 hetes		16 hetes		21 hetes	
		S	T	S	T	S	T	S	T
BUT	♂	1.64	0.92	10.35	6.58	14.6	9.18	20.25	12.65
	♀	1.40	0.86	10.74	4.44	10.05	6.23	13.35	7.66
Bronz	♂	0.80	0.37	3.62	1.91	4.82	2.61	6.85	3.60
	♀	0.61	0.29	2.44	1.39	3.17	1.78	4.0	2.28

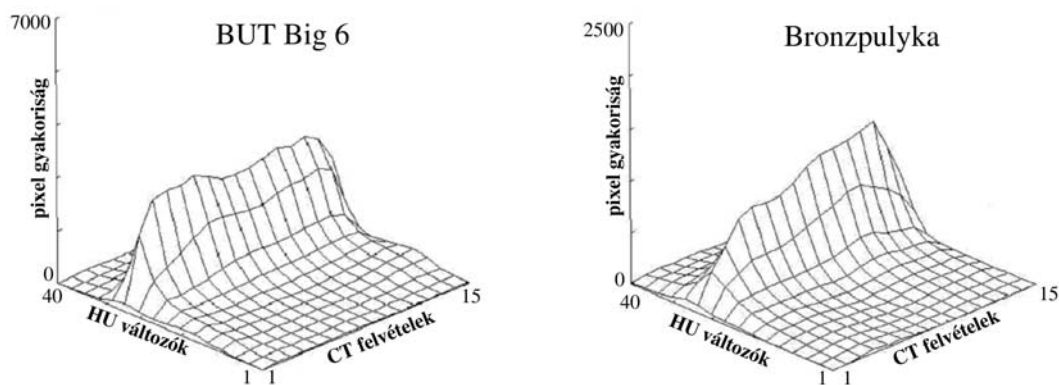
Az összehasonlítás alapját 15 jól azonosított anatómiai síkban készült CT kép képezte, melyek közül a 6. a *clavicula* végénél (*hypocleidum*), a 11. pedig a *sternum caudalis* végénél készült. A jelentős testsúly különbség miatt, szemben a brojlecsirkénél alkalmazottnál, itt genotípusonként eltérő gyakorisági skálát használtunk a Z tengelyen. A 13. ábra 3D hisztogramjai 5 hetes pulykák testösszetételét mutatják. A hisztogram kiemelkedései az izomszövetre jellemző denzitás tartományban helyezkednek el (HUv 21-30). A *caudalisan*

helyeződő nagyobbik kiemelkedést döntően a comb izomzata alkotja, az erre az életkorra jellemző allometrikus növekedésnek megfelelően (Perényi és mtsai, 1980; Swatland, 1994)



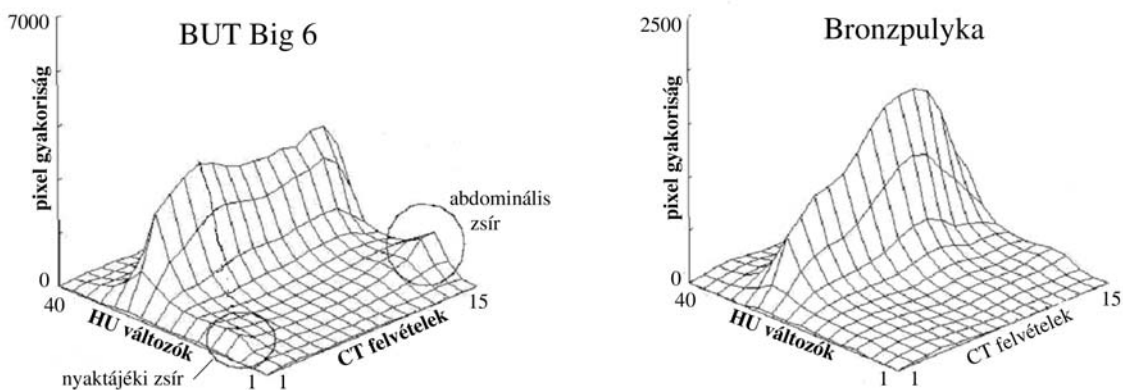
**13. ábra** 5 hetes nőivarú BUT és bronzpulyka genotípusok testösszetételének 3D hisztogramja

Az izomszövet tartományban a 12 hetes állatokon megfigyelhető a két csúcsú domborzati jelleg (14. ábra). Ebből az elülső a mellrégió tartománya (3-7 scan), amit a combok által alkotott csúcs követ (10-15 scan).



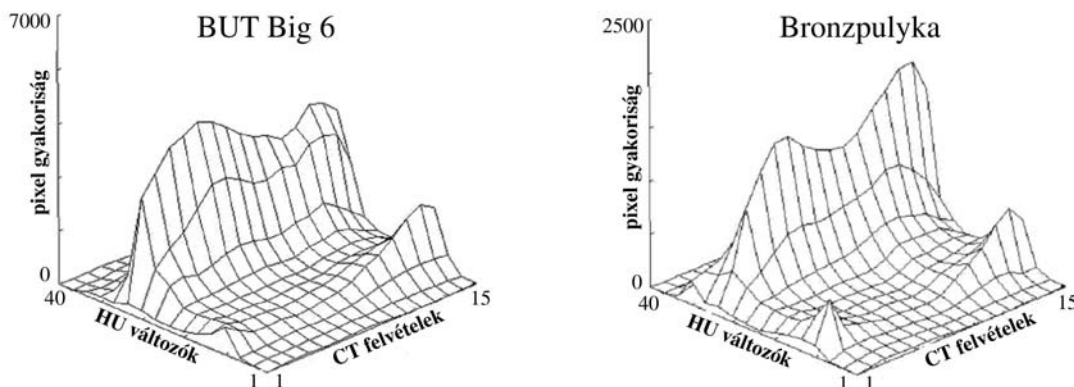
**14. ábra** 12 hetes nőivarú BUT és bronzpulyka genotípusok testösszetételének 3D hisztogramja

A két genotípus ebben a korban már jelentős eltéréseket mutatott, amennyiben a BUT esetében a mell- és a szárnyizomzat aránya meghaladta a farhát, illetve a combok arányát. A bronzpulykával szemben a modern hibrid esetében jól érzékelhető az intenzív fiatalkori növekedésre irányuló szelekció hatása. Bár ebben az életkorban még alig észrevehető, de a BUT pulykánál a nyaktájéki zsír (1 scan) mellett a 13-15 felvételen megjelent egy kis mennyiségű abdominális zsír is. A 16. hétre a modern hibrid mellizomzata a bronzpulyka mellizomzatának többszörösére nőtt (15. ábra). Hasonló változásokat írtak le Summers és Spratt (1990), akik nagy fehér pulykák 28 hétig tartó vizsgálata során a mellizomzat arányának folyamatos növekedését figyelték meg, a comb ellentétes irányú változása mellett. A BUT pulykában ebben a korban már zsírosodás észlelhető, úgy, hogy az abdominális zsírpó kiterjedése *cranialisan* növekedett.



**15. ábra** 16 hetes nőivarú BUT és bronzpulyka genotípusok testösszetételének 3D hisztogramja

Az utolsó vizsgálati időpontban szembevetendő mindkét genotípus igen erős zsírosodása (16. ábra).



**16. ábra** 21 hetes nőivarú BUT és bronzpulyka genotípusok testösszetételének 3D hisztogramja

A térfogatos változásokat a 16. és 21. hét között vizsgálva megállapítható, hogy a folyamatosan növekedő zsírszövet depozíció - különösen bronzpulyka esetében - kiegyenlíti az ezzel ellentétesen változó izombeépülést. A modern hibrdek intenzív növekedése ezzel együtt tovább tart. Murayama és Kanemaki (1991) szerint a maximális növekedési ütemet jelző inflexió pont a testsúly esetében a 112. napon, míg a mellizomzat esetében a 159. napon van. Eredményeink szerint bronzpulykánál a hát- és a combizomzat aránya a teljes izomtömeghez képest lényegesen nagyobb, mint a BUT hibrid vonatkozó értéke, bizonyítva ezzel az elmúlt 30 év nemesítő munkájának eredményét a mellizomzat arányának növelésében.

#### 4.1.1.1.4. Vedletés hatásának felmérése tojótyúokban

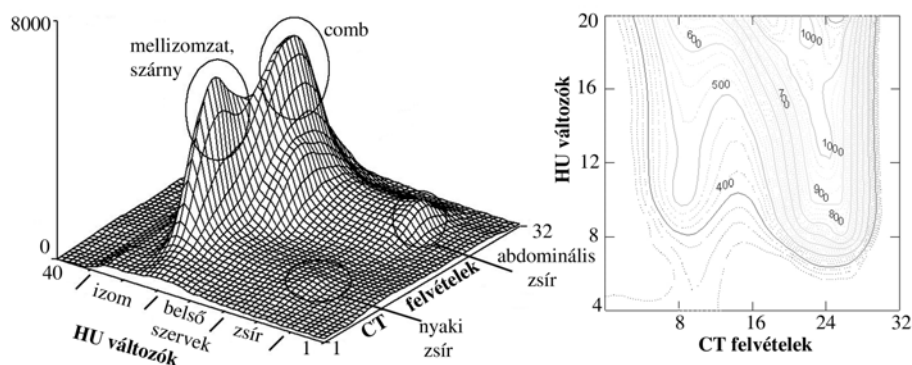
Napjainkban az európai régióban a mesterséges vedletés erősen kifogásolt technológiai megoldás a tojástermelésben, szemben a nyolcvanas évek gyakorlatával (Ballay és mtsai, 1984). Az észak-amerikai területen ugyanakkor továbbra is fontos szerepet játszik az árutojás előállításban. A vedletés visszaszorulásának közvetlen oka az a relatív magas stressz, amit a takarmány teljes megvonása okoz (Keshavarz és Quimby, 2002). Az „animal welfare” szempontjainak előtérbe kerülésével az utóbbi években a hagyományos vedletés alkalmazása, legalábbis Európában, megkérdőjeleződött. Ezzel párhuzamosan megnőtt az érdeklődés a vedlést indukáló ún. alternatív eljárások iránt (Ruszler, 1998). Rolon és mtsai (1993) már korábban leírták, hogy nem szükséges a teljes takarmány-megvonás, miután az helyettesíthető

alacsony energia tartalmú táppal (ún. nem takarmány megvonásos módszer (Biggs és mtsai, 2003)). Az intenzív testsúlyvesztéssel járó vedletés folyamata igen érdekes biokémiai (Gildersleeve és mtsai, 1983), illetve testösszetételi szempontokból. A különböző szervek súlyának jelentős változását írták le közleményükben Brake és Thaxton (1978) a takarmány megvonás, majd a vedletést követő regenerálódási szakaszban.

Jelen kísérletben egy viszonylag rövid, 12 napos teljes takarmány megvonáson alapuló vizsgálati periódus során követtük végig a testösszetétel változását. Figyelembe vettük Buhr és Cunningham (1994) megállapításait, akik szerint a vedletés utáni tojástermelési teljesítmény nem függ közvetlenül össze a kezelés során elért 15, 20 vagy 25 %-os testsúly csökkenéssel. Ugyanakkor Bar és mtsai (2001) szerint a vedletés során alkalmazott rövid megvilágítási periódus, valamint a hosszú regenerációs szakasz együttesen felelős a későbbi termelés alatti jó eredményekért. Vizsgálatunk célja az volt, hogy bemutassuk az *in vivo* CT felvételezés alkalmazhatóságát a szóbajóhető technológiák összehasonlításában.

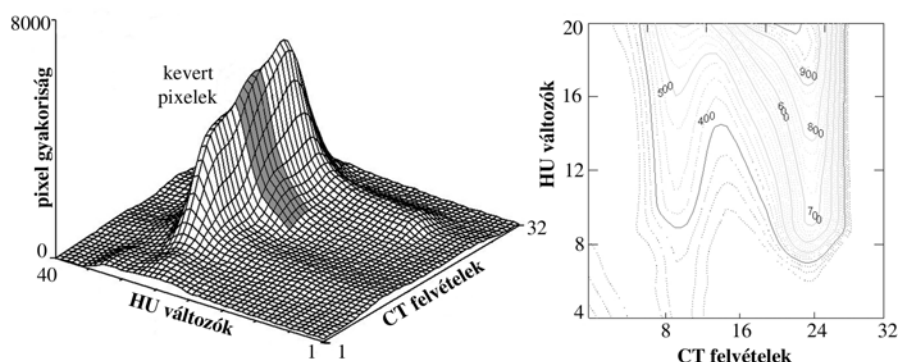
Az alkalmazott takarmányozási és világítási technológiának köszönhetően a kísérletben résztvevő 27 Hy-Line Brown tojó átlagos testsúlya gyorsan csökkent (kiindulási időpont, 3., 6., 9. és 12. nap:  $2.04 \pm 0.07$ ;  $1.95 \pm 0.09$ ;  $1.82 \pm 0.11$ ;  $1.66 \pm 0.09$ ;  $1.62 \pm 0.09$  kg). A 12. napra elért 21.6 % -os csökkenés hatására intenzív vedlés kezdődött, ezért a vizsgálatok első szakaszát itt lezártuk és ezt követően a tojó állomány háromhetes regenerációs fázisba került. A kísérleti állományon belül, a vizsgálati periódus során elhullás nem történt. CT felvételezésre négy alkalommal (kiindulási időpont, 6., 12. nap, majd a regenerációs fázist követően) került sor. A képfeldolgozás, a 3D hisztogramok szerkesztése a brojlersírkénél és a pulykánál leírtakkal megegyező volt.

A 17. ábrán két domináns kiemelkedés látható a izomszövet elnyelési tartományában (HUv 24-34). Az egyikük a mell, illetve a szárny, másikuk a comb izomzatát jeleníti meg. A zsírszövet denzitás tartományban (HUv 6-14), két megjelölt depó látható, a kisebbik a nyak, a nagyobbik pedig az abdominális régióban. Az izom és zsír tartomány között (a nulla denzitás körül, HUv 0) ún. kevert voxelek jelentkeznek, melyek változó arányban tartalmaznak zsírt, illetve izom szövetet. Ezen a kevert térfogat egységek megjelenését magyarázza, hogy a CT berendezés fizikai felbontása megközelítően  $1 \times 1$  mm. Figyelemmel az alkalmazott 10 mm-es szeletvastagságra, az elemi térfogat egység  $10 \text{ mm}^3$ . Ehhez képest a zsír-izom határfelületek kisebbek, ami átlagdenzitású voxeleket eredményez. A jelenséggel részleteiben Choi és mtsai (1991) foglalkoztak. A jobb oldalon szereplő ún. „contour plot” ábrák a 3D térháló felülnézetének tekinthetők és nagymértékben hasonlíthatók egy szintvonalas földrajzi térképhez. A feltüntetett kontúr vonalak a zsír mennyiségét jelzik anatómiai lokalizációjuknak megfelelően.



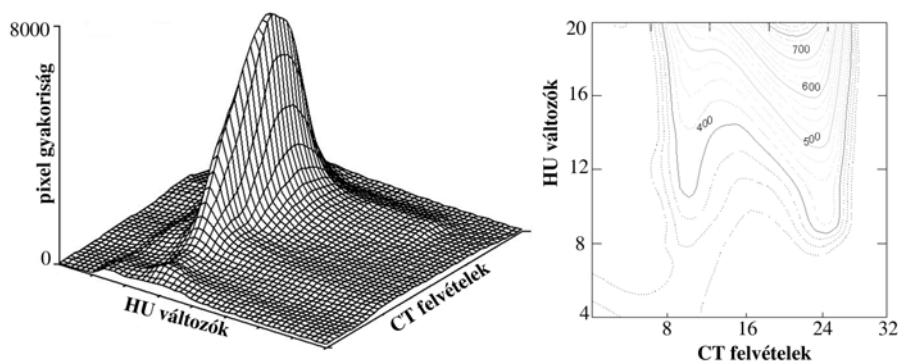
**17. ábra** Tojók teljestest összetételének 3D hisztogramja, a zsírdenzitás tartomány kontúrvonal diagramjával, a vedletést megelőzően

Hat nap elteltével a zsírdepók jól érzékelhetően csökkennek, ugyanakkor új csúcs jelentkezik a térhálón. Utóbbi egyértelműen a kevert voxelek számának növekedését jelzi. Elhelyeződése a hasúri régióban (15-21 felvétel), valamint a jellemző átlagos denzitás növekedés szoros összefüggést mutat a zsírtartalom csökkenésével (18. ábra).

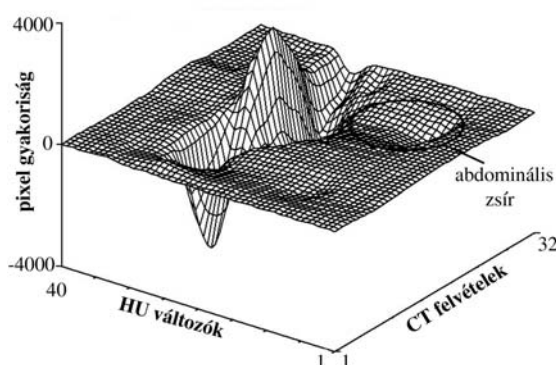


**18. ábra** Tojók teljestest összetételének 3D hisztogramja, a zsírdenzitás tartomány kontúrvonal diagramjával, a vedlés 6. napján

Ahogy a 19. ábrán jól látható, a 12. napra a zsírdepók igen erősen csökkentek, kialakult a sovány testre jellemző egy-csúcsú 3D modell. A 17., illetve a 19. ábrán bemutatott kontúr ábrázolásokat összehasonlítva megfigyelhető, hogy a 12 napos takarmányelvonást követően 700-as pixel gyakoriság feletti kontúrvonal nem található, bizonyítva az igen erős zsírvesztést. Ebben a vizsgálati időpontban a megközelítően 20 %-os testsúly csökkenéssel párhuzamosan megindult az intenzív vedlés, emiatt a kezelést (koplaltatást) befejeztük.



**19. ábra** Tojók teljestest összetételének 3D hisztogramja, a zsírdenzitás tartomány kontúrvonal diagramjával, a vedlés 12. napján

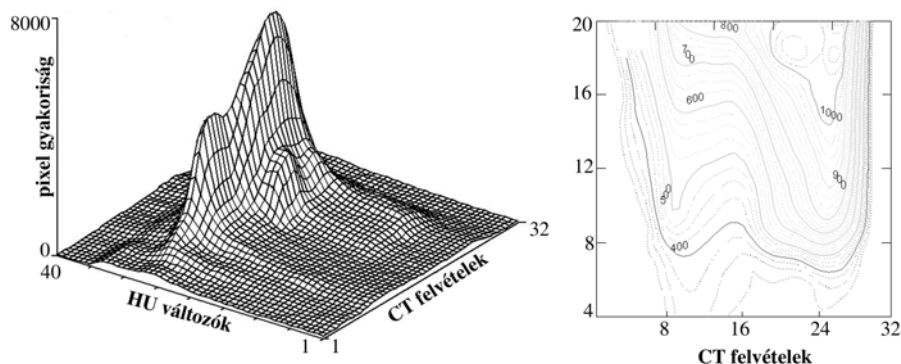


**20. ábra** Testösszetétel változás a teljes vedlési ciklus során

A takarmánymegvonás kezdő és végpontja közötti testösszetétel változást, a korábban a nyúlön és brojlercsirkén bemutatott módon, különbség-hisztogram ábrázolja (20. ábra).

A térhálón a zsírszövet elnyelődési tartományában látható mélyedések jelzik az abdominális depó, illetve a nyaktájéki zsírdepó erőteljes csökkenését. Ez a megfigyelés alátámasztja azt a jól ismert erős és pozitív összefüggést, amely a hasúri zsírdpozíció és a szervezet többi zsírdepója

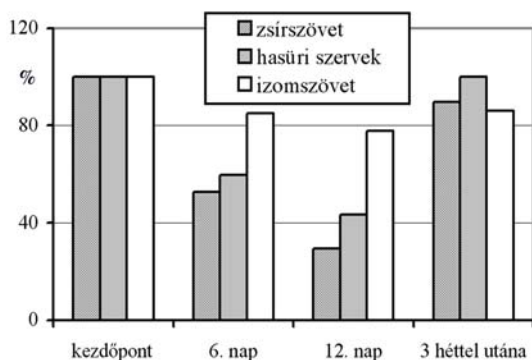
között fennáll (Chambers, 1990). A korábbiakban leírtak szerint a 17. és a 24. felvétel síkja között megjelenő új csúcs a hasúri szervek zsírtartalmának csökkenése okozta átlag denzitás növekedésből ered. Ezen túlmenően az izomra jellemző denzitás tartományban is térfogatsökkenés jelentkezik, amely összefügg az izom zsírtartalmának csökkenésével.



**21. ábra** Tojók teljestest összetételének 3D hisztogramja, a zsírdenzitás tartomány kontúrvonal diagramjával, a háromhetes regenerációs fázist követően

A 21. ábrán látható térháló alapján jól érzékelhető, hogy a háromhetes *ad libitum* takarmányozáson alapuló regenerációs periódus elegendő volt a kiinduló ponthoz hasonló testösszetétel elérésére. Az izom denzitás tartományában a 17. ábrához hasonlóan azonosítható a dupla csúcs, jól láthatók továbbá a visszaépült zsírdepók.

A brojlercsirke vizsgálatoknál bemutatott módon (12. ábra), a fentiekben tárgyalt összefüggéseket szemlélteti a 22. ábra, amelyen az egyes szöveti összetevőket százalékosan, a kiindulási állapothoz viszonyítva adom meg.



**22. ábra** Az eltérő szövettípusok relatív arányának változása a teljestestben

Száz százaléknak tekintve a kiindulási állapotot a vedlés 6., illetve 12. napján a zsírdepók, a hasúri szervek és az izomszövet térfogata 52.5, 59.7 és 85 %-ra, illetve 29.5, 43.5 és 77.9 %-ra csökkent. A háromhetes regenerációs szakaszt követően az előbbi értékek 89.6, 100.1 és 86.1 %-nak adódtak. A teljestest összetételre vonatkozó eredmények szerint a 12 nap alatt bekövetkezett 21.6 %-os testsúly veszteséssel mellett a zsírtartalom közel háromnegyede (70.5 %) felhasználódott. A regeneráció során a folyamat közel reverzibilisnek bizonyult, a belső szervekben mért 56.5 %-

os csökkenést teljes regeneráció követte. A legkisebb térfogat változást az izomszövetnél mutattuk ki, egyben itt volt a legalacsonyabb mértékű a regeneráció.

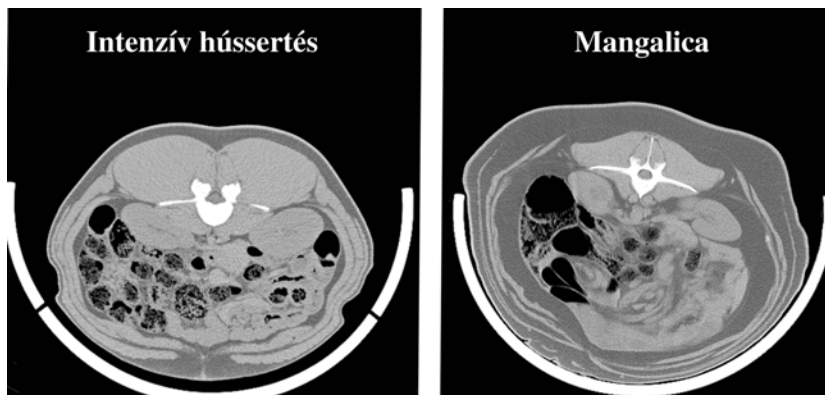
#### 4.1.1.1.5. Az intenzív hústípusú és a mangalica sertés összehasonlítása

Napjainkban a világon több, mint 500 sertésfajta ismert. A testösszetételben megmutatkozó nagy biológiai diverzitást kívántuk bemutatni, a bizonyos értelemben szélsőségeként felfogható zsír-, illetve hús típusú sertés egy-egy példáján. Amíg az utóbbi csoportba sorolható genotípusok karkasz jellemzői jól ismertek, addig az őshonos mangalica ebből a szempontól kevésbé kutatott. Ennek alapján *in vivo* CT vizsgálataink célja az intenzív hússertés és a szőke



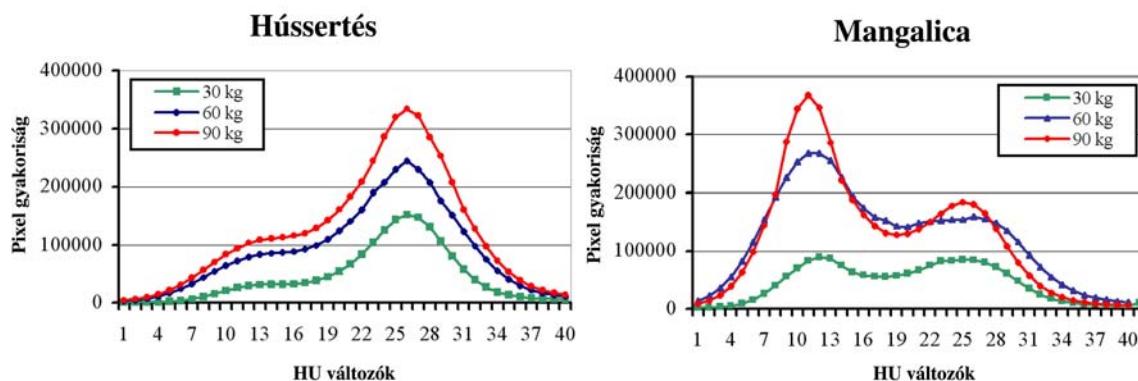
mangalica sertés szöveti összetételének összehasonlítása volt. A két genotípus növekedése, takarmányértékesítése és testösszetétele igen különböző. Azonos testsúly eléréséhez - még azonos tartási és takarmányozási viszonyok között is - a mangalicának kétszer annyi időre van szüksége, mint a hús típusú genotípusoknak. Próbavágásra alapozott összehasonlító vizsgálatukban jellemezték az intenzív húsertést és a mangalica sertések különböző változatait (Rühl, 1971; Adilovic és mtsai, 1985; Rede és mtsai, 1986). A mangalica izom- és zsírszövetének jellemzőit Ender és mtsai (2002) foglalták össze.

Tekintettel a jelentősen eltérő növekedési erélyre, a genotípusok közötti összehasonlítást azonos testsúlyban (30, 60 és 90 kg) végeztük, 6-6 ártány ismételt vizsgálatával. A testösszetétel különbségeket szemlélteti a 23. ábra.



23. ábra A vese síkjában készült keresztmetszeti felvételek 90 kg-os testsúlyban.

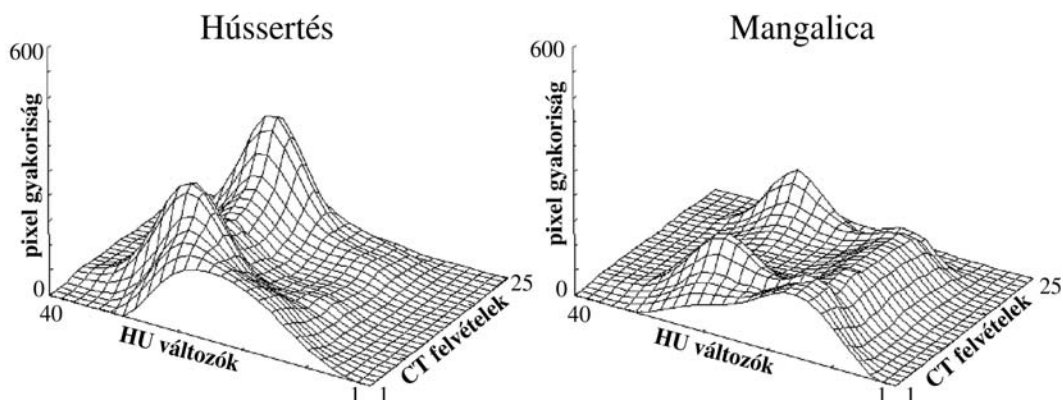
A 24. ábra eloszlás görbéi a két genotípus szöveti összetétel változását mutatják, ahol az „y” tengelyen a pixel gyakoriságokat, az „x” tengelyen pedig a HU változókat tüntettem fel.



24. ábra Intenzív húsertés és mangalica hisztogramja a -200 és +200 -as Hounsfield intervallumban (1-40 HUv) 30, 60 és 90 kg-os testsúlyban

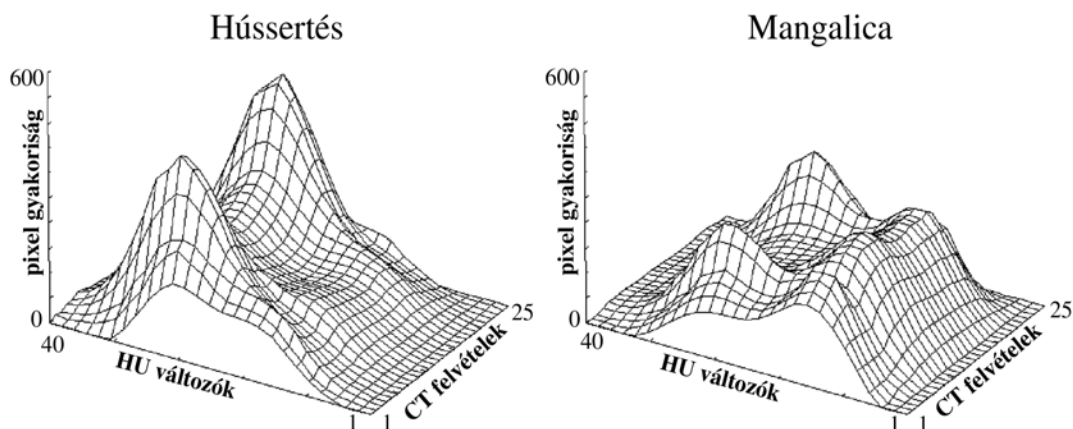
A hústípusú sertések esetében, amíg az izomszövetre jellemző denzitás tartományban (HU22-HU40) határozott csúcsok látszanak, addig a zsírtartományban (HU1-HU18) ezek kevésbé kifejezettek. A teljestesten belül az izomszövet dominál, a beépülés üteme folyamatos. A zsírszövet aránya a teljes vizsgálati időtartamon belül alacsony. A mangalica sertések esetében 30 kg-os tömegben már két azonos csúcs jelzi a vizsgált szöveti összetevők térfogatát. A második vizsgálati időpont intenzív zsírdepozíciót mutat, ugyanakkor látszik a további izomtérfogát növekedés is. Kilencven kg-os súlyban, a korábbi vizsgálati időponthoz képest nem mutatható ki további izombeépülés, a zsírdepozíció azonban továbbra is igen erős maradt.

A szöveti összetevők anatómiai lokalizációját bemutató ábrákon, a korábbiakhoz hasonlóan azonos az „Y” tengely skálabeosztása (25. ábra). Harminc kg-os élősúlyban vizsgálva, az izom tartományban (HUv 21-40) mindkét fajtában két jellemző csúcs látható. A fej felől az első a vállöv régiója (2-8), majd azt követi a valamivel alacsonyabb gerinc tájék, végül a legmagasabb kiemelkedés a combnál látható (18-25). A zsírtartományban - elsősorban a hasúri területen - (HUv 2-18) igen jelentős különbség látszik a két genotípus között.



**25 ábra.** Intenzív húsertés és mangalica szöveti összetételének 3D hisztogramja, 30 kg-os testsúlyban

A 26. ábra 3D felszíne alapján a 90 kg-os mangalicát közel azonos izom és zsírszövet térfogat jellemzi. A szöveti eloszlás igen hasonló a 30 kg-ban ábrázolthoz. Ugyanakkor a korábbi mérési időponthoz képest a két genotípus közötti különbségek kifejezettebbek lettek.



**26. ábra** Intenzív húsertés és mangalica szöveti összetételének 3D hisztogramja, 90 kg-os testsúlyban

A zsír- és húsertések szöveti összetételében fordított izom/zsír arány állapítható meg. Azonos testtömegben vizsgálva az intenzív genotípus izomszövet tartalma közel azonos a mangalica zsírtartalmával. Harminc kg-os testsúlyban a színhússzázalék 61.5, illetve 35.5 % volt, 3.4, illetve 1.0-es izom/zsír arány mellett a hústípusú és a mangalica sertés esetében. A CT felvételezés alapján intenzív szöveti beépülés figyelhető meg mindkét genotípusban, amit a 60 kg-ban mért adatok bizonyítanak. Ekkor sorrendben 57.7, illetve 30.9 %-os színhústartalmat és 3.2, illetve 0.6-os izom/zsír arányt állapítottunk meg a két genotípusban. Az utolsó vizsgálati időpontban (90 kg) a mangalica esetében gyakorlatilag nem volt további izombeépülés, ugyanakkor további erős zsírdepozíció volt detektálható. A szöveti összetételt

28.5 %-os színhústartalommal és 0.5-ös izom/zsír aránnyal lehetett jellemezni. Az intenzív hússertés az utolsó vizsgálati periódusban is (60-90 kg) intenzív izombeépülést mutatott, amit jól jellemez 53.2 % -os színhústartalma és 1.9-es izom/zsír arány.

Azt a megállapítást, miszerint a hús típusú sertések a teljes hizlalási periódus során megtartják izom-beépítési képességüket (Whittemore, 1986) saját eredményeink alátámasztották. Ezzel szemben a mangalica sertések izom beépítési intenzitása és kapacitása alacsonynak bizonyult a teljes vizsgálati időtartama alatt. Az izomtérfogát növekedése 60 kg-os testsúlyban megállt, ugyanakkor a zsírdepozíció tovább nőtt.

---

**Összefoglalva**, a közölt eredmények alapján megállapítható, hogy a CT felvételek gyakorisági eloszlásaiból származtatott burkoló felületek alkalmazása jó lehetőséget nyújt a növekedés során bekövetkező testösszetétel változások vizsgálatára. Egyedi adatok felhasználásával (ugyanazon állat ismételt felvételezése), illetve csoport átlagokra alapozva baromfi és sertés genotípusokat hasonlítottunk össze. Ennek során rámutattunk néhány, a vázizomzat beépülés növelésére irányuló szelekció eredményeképpen létrejött testösszetétel különbségre. A vedletéssel és a nyúl vemhességgel kapcsolatos vizsgálatok bizonyították a módszer használhatóságát rövidtávú, de intenzív testösszetétel változással járó folyamatok értékelésében.

#### 4.1.2. Teljestest kémiai összetételének (nyerszsír, nyersfehérje) becslése

Egy állat mérete kémiai összetevőinek súlyával azonos. Ennek megfelelően Emmans és Kyriazakis (1999) sertésre kidolgozott modellje alapján egy egyed növekedése a fő kémiai komponensek mennyiségének növekedésével leírható. A megközelítés további előnye, hogy az állat növekedését, a takarmányból származó energia- és táplálóanyag szükséglettel összefüggésben vizsgálja (Whittemore és Fawcett, 1974).

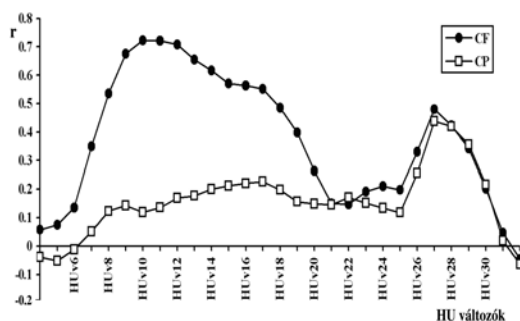
##### 4.1.2.1. HU index alkalmazási lehetőségei

A módszer elvi lehetőségét az adja, hogy a pixelméret és a szeletvastagság ismeretében az elemi térfogat egységek (voxel) pontos mérete meghatározható. Ennek alapján a teljes vizsgált szöveti térfogaton belül egy előre definiált HU intervallumhoz tartozó összes voxel térfogat kiszámítható. Ez utóbbi, illetve a teljes térfogathoz viszonyított érték százalékban fejezi ki a vizsgált szöveti összetevő (izom, zsír) arányát.

##### 4.1.2.1.1. Húsnyúl

A nyúl esetében viszonylag kevés adat áll rendelkezésre a teljestest kémiai összetételéről és az azt befolyásoló tényezőkről. A kor hatását Parigi Bini és mtsai (1991), a kor és az ivar hatását Fekete és mtsai (1996), a növekedési ütem, a fajta, az ivar és a takarmány összetétel hatását pedig Fraga és mtsai (1978) vizsgálták szopós nyulakon. A választáskori takarmányozás, illetve a választási kor testösszetételére gyakorolt hatását Xiccato és mtsai (2003) írták le. DeBlas és mtsai (1977), valamint Fekete és mtsai (1996) közöltek adatokat a teljestest víz, fehérje- és hamutartalmáról az életkor függvényében, növendék állatokon. A következő kísérletben szereplő állomány egyedeinek testösszetételét Szendrő és mtsai (1998) vizsgálták, a genotípus, az életkor, a testsúly és az ivar függvényében. A fenti vizsgálatokban közös, hogy az ürestest kémiai analízisén alapulnak. Ezen eredményekre, elsősorban Fraga és mtsai (1983), Szendrő és mtsai (1998) és Xiccato és mtsai (2003) adataira alapozva Maertens és mtsai (2004) eljárást dolgoztak ki a teljestest N és P tartalmának becslésére.

A kémiai összetétel *in vivo* meghatározását célzó vizsgálatokat Pannon fehér (P) és Dán fehér



**27. ábra** Az egyes HU változók, valamint az ürestest nyersfehérje és nyerszsírtartalma közötti korrelációs értékek változása a medence tájékán készült 16. felvételen.

Ennek alapján az ürestest nyerszsír tartalma és az összes zsírra jellemző denzitású pixelek száma ( $\Sigma HU_{v7-16}$ ) között, a vese régiójában a P nyulak esetében 0.82-es  $R^2$  ( $P < 0.05$ ) értéket kaptunk. A magas korrelációnak alapján ún. zsírindex értékeket számoltunk ( $\Sigma HU_{v7-16} / \Sigma HU_{v1-40} \times 100$ ), először a vesék régiójában (zsírindex „K”). A nyerszsír tartalom és az

x Pannon fehér (DxP) nyúlön végeztük 6 és 16 hetes életkor között. A módszer elvét szemlélteti a 27. ábra, amelyen a HU változók és kémiaiilag meghatározott nyerszsírtartalom között számított korrelációs koefficiens értékek „görbéje” magas, tompa csúcsot mutat a zsírnak megfelelő tartományban. Ennek alapján a továbbiakban a HU -140 és -51 közötti ( $HU_{v7-16}$ ) tartományt tekintettük a zsírszövetre jellemzőnek. A második alacsonyabb csúcs az izomszövet régiójában mutatja a fehérje tartalom lényegesen gyengébb becslési pontosságát. A zsírtartalmat először közvetlen térfogatos módszerrel mértük.

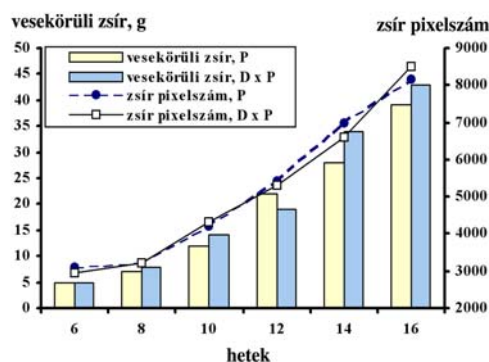
összes CT felvétel alapján számított zsírindex („T”) között  $R^2=0.75$ -ös ( $P<0.05$ ) az összefüggés.

A 4. táblázat a zsírra jellemző denzitású pixelek összegét, a különböző módon számított zsírindexeket, valamint a kémiaiilag meghatározott nyerszsír értékeket tartalmazza, életkoronként és genotípusonként (P és DxP).

4. táblázat. A zsírtartalomra jellemző értékek alakulása a vesetájékon a két genotípusban

Genotípus	Jellemzők	Életkor (hét)					
		6	8	10	12	14	16
P	$\Sigma HU_v 7-16$	3103	3214	4202	5419	6972	8175
	Zsírindex K	9.8	10.2	11.3	13	14.7	16.1
	Zsírindex T	10	10.2	10.3	11	11.6	13
	nyerszsír, %	5.3	6.0	7.4	8.7	9.0	9.4
DxP	$\Sigma HU_v 7-16$	2962	3224	4317	5328	6602	8493
	Zsírindex K	9.1	10.2	11.4	12.1	13.5	16.4
	Zsírindex T	10.3	10.5	10.9	11.5	12.6	14.1
	nyerszsír, %	5.7	6.3	8.3	8.6	10	10.9

A vesekörüli zsír mennyiségének és a vesetájékon mért összes zsírpixelszámnak ( $\Sigma HU_v 7-16$ ) kapcsolatát mutatja a 28. ábra a P és a DxP nyulakon az életkor függvényében.



28. ábra A vesekörüli zsír és a zsírra jellemző denzitású pixelek korfüggő változása a vizsgált genotípusoknál a vese régiójában.

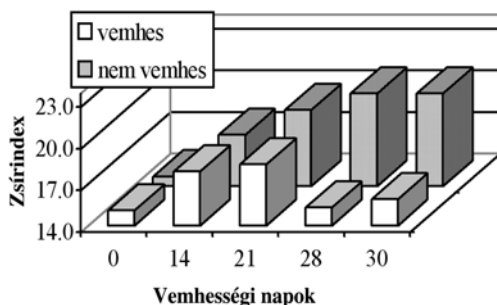
Hat és 16 hetes életkor között a vesekörüli zsírtartalom megközelítően egy nagyságrenddel nőtt. Mindkét genotípusban igen szoros az összefüggés a mért zsírtartalom és a zsírra jellemző denzitású pixelek száma között. A vizsgált testsúly tartományban a számított zsírindex értékek párhuzamosan emelkednek a teljestest nyerszsír tartalmával. A zsírindex „K”-ban mért nagyobb emelkedést (9.8-ről 16.1 %-ra), összehasonlítva a zsírindex „T”-nél tapasztalttal (10-ről 13 %-ra) a teljestest zsírtartalom emelkedéséhez képest gyorsuló ütemű vesekörüli zsírdepozíció magyarázza. Saját eredményeinket alátámasztják

Ouhayoun (1983) megállapításai, aki szerint a zsírszövet allometriás együtthatója a 950 és 2100 g-os testsúly tartományban folyamatosan nő. Ugyanakkor az izomszövet (*m. longissimus dorsi* és a comb izomzat) zsírtartalma alacsony és annak korfüggő emelkedése is mérsékelt (Maertens és De Groote, 1992; Szendrő és mtsai, 1996). Ennek alapján megállapítható, hogy az ürestest zsírtartalmának emelkedéséért elsősorban a depózsírok mennyisége a felelős. A fenti eredmények alapján a kidolgozott indexek alkalmasak növekedés közbeni testösszetétel változások leírására. A bemutatott modellkísérlet célja olyan nem invazív *in vivo* módszer kidolgozása volt, amely alkalmas nyulak testösszetételének meghatározására. Az itt közölt eredményekre alapozva a későbbiekben becslő egyenletek kidolgozására nyílt lehetőség, melynek részleteit a 4.1.2.2.-es fejezetben ismertetem.

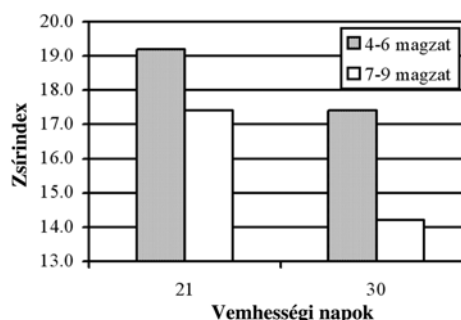
Kapcsolódva a 4.1.1.1.1.-es fejezetben ismertetett **vemhes nyúl**on végzett vizsgálatokhoz, a következőkben az anyák testében a zsírtartalom változását HU indexek segítségével írom le.

A vemhességgel kapcsolatban nyúlön végzett vizsgálatok korábban döntően invazív eljárásokon alapultak. Az először vemhesült anyanyulak fehérje és energia beépítését Parigi Bini és mtsai (1990) vizsgálták. Fekete és mtsai (1994) a nyúl vemhességének komplex elemzése során meghatározták a teljestest és a magzatok kémiai összetételét. Alternatív megoldásként *in vivo* TOBEC módszert használtak Milisits és mtsai (1997) a teljestest zsírtartalmának mérésére. A vemhesség energetikai szempontból, saját eredményeink alapján is kritikusnak tekinthető utolsó harmadát Toschi és mtsai (2004) vizsgálták indirekt kalorimeriával.

A vemhesség különböző szakaszára jellemző testzsírtartalom meghatározására zsírindexet számítottunk. Amint az a 29. ábrán jól látható, a kontroll (nem vemhes) csoport zsírtartalma a vizsgálati periódusban folyamatosan nőtt. Ezzel szemben a vemhes anyákban a vemhesség utolsó tíz napjában a zsírtartalom csökkenése látszik. A csoportok közötti különbségek a vemhesség 28. napján és közvetlenül a fialást követően szignifikánsnak bizonyultak ( $P < 0.001$ ). A zsírindex becslési pontosságának megállapítása érdekében regressziós analízist végeztünk az index számok és a kémiaileg meghatározott nyerszsírtartalom között. Az eredményül kapott korrelációs koefficiens értéke 0.93 és 0.91 volt a vemhes, illetve a kontroll anyáknál.



29. ábra A zsírindex változása a kísérleti periódus során



30. ábra A zsír index változása a vemhesség utolsó harmadában a kis, illetve nagy vemhet nevelő anyanyulakban

A korábban már idézett Kamphues (1985) eredménye szerint a kísérleti takarmány energia tartalma négy magzat esetében volt elegendő, e felett az anyai tartalékok mobilizálódtak. Ennek alapján feltételezhető, hogy a nagyobb alomlétszám erősebb zsírmobilizációval jár együtt. Ennek a feltevésnek bizonyítására az anyákat az alomlétszám alapján (4-6, illetve 7-9 fióka) két csoportra osztottuk, majd meghatároztuk a csoportok átlagos zsírtartalmát. A 30. ábrán jól látható az a szignifikáns különbség ( $P < 0.001$ ), amely szerint a vemhesség utolsó tíz napjában a nagyobb almok esetében 17.9, a kisebb almoknál pedig 9.3 %-al csökkent a zsírindex értéke.

#### 4.1.2.1.2. Brojlercsirke

Igen kevés a valóban “hosszútávú” (13-15. hétnél tovább tartó) brojlerhizlalási kísérlet. Közéjük tartozik Ballay és mtsai (1983) rooster előállítását célzó vizsgálata, amelyben a hímivarú brojlerok hasúri zsírtartalma 7 és 13 hetes kor között az élőtömeg 2.39 %-ról 4.19 %-ára emelkedett. A számított teljestest nyerszsír tartalma a 16. héten elérte a 10.8 %-ot. Sütő és mtsai (1998) Arbor Acres Regular genotípus növekedését vizsgálták húsz hetes életkorig, amikor a nőivar abdominális zsírdepozíciója megközelítően 260 g, a hímivaré pedig 130 g volt. Sørensen és Ducro (1995) szerint 19 hetes korig az *ad libitum* takarmányozott brojlerok

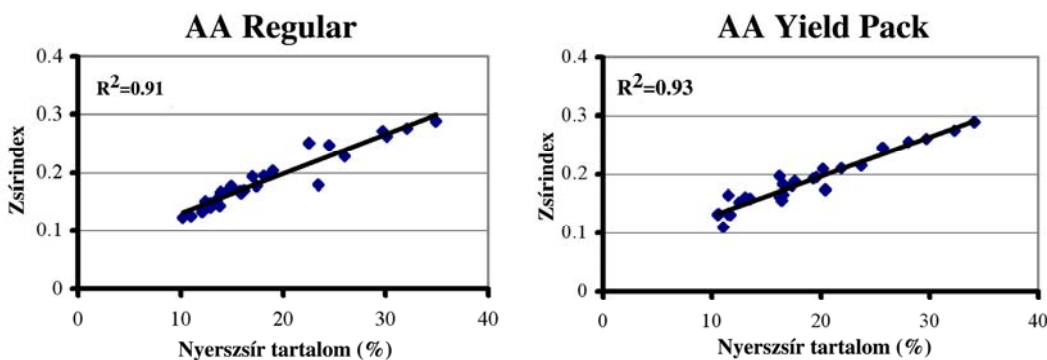
testtömege eléri az 5-6 kg-ot. Erre az életkorra a nőivarú állatok ivarérettek, a bennük deponált zsír mennyisége pedig a hímivarban mért érték kétszeresét éri el.

Saját vizsgálatainkban Arbor Acres Regular és AA Yield Pack genotípusok testzsír tartalmának összehasonlítását végeztük, az előző alfejezetben bemutatott zsírindex segítségével. Miután a zsírszövetre jellemző röntgensugár elnyelés a vizsgált életkorokban azonosnak tekinthető, a  $\Sigma HU_{v6-12}/\Sigma HU_{v1-40}$  formájú zsírindex minden vizsgálati időpontban (6, 12, illetve 20 hét) alkalmazható. Az utolsó vizsgálati időpont megválasztása kompromisszum eredménye volt, mivel az adott életkorban MRI mérések is történtek (4.2.2. fejezet). A CT felvételezés, illetve a három mérési időpontban elvégzett kémiai analízis eredményeit a 5. táblázat tartalmazza.

**5. táblázat** AA Regular és AA Yield Pack brojlerek testsúlyának, nyerszírtartalmának és HU index értékeinek változása az életkortól és az ivartól függően (n = 5, ivaronként és időpontonként)

Hetek	Ivar	Testsúly (g)		Nyerszsír (%)		HU index	
		Arbor Acres Regular					
		Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
6	♂	2036	8.9	12.2	1.68	0.14	0.02
12	♂	4372	10.9	15.2	2.41	0.17	0.02
20	♂	5840	22.4	16.9	0.61	0.18	0.02
6	♀	1790	11.6	13.9	1.51	0.15	0.02
12	♀	3640	24.5	21.4	2.87	0.21	0.03
20	♀	4730	27.4	30.6	3.28	0.27	0.02
ArborAcres Yield Pack							
6	♂	1998	4.5	11.8	0.96	0.14	0.01
12	♂	4544	26.1	13.5	3.03	0.15	0.03
20	♂	6350	40.8	18.9	1.64	0.19	0.02
6	♀	1842	4.5	14.9	2.82	0.17	0.03
12	♀	3636	16.7	21.6	3.53	0.20	0.04
20	♀	5000	57.7	31.1	2.67	0.27	0.02

A kémiai analízissel mért zsírtartalom és a számított index kapcsolatát leíró lineáris regressziós modelleket a 31. ábra mutatja, ahol  $R^2=0.91$  az AA Regular és  $R^2=0.93$  az AA Yield Pack genotípus esetében. Ennek alapján megállapíthatjuk, hogy a testsúlytól független zsírindex jól alkalmazható az eltérő genotípusú, 10 % feletti nyerszsír tartalmú brojlercsirkék zsírdepozíciójának nyomonkövetésére.



**31. ábra** A nyerszsír tartalom és a HU index közötti összefüggés az AA Regular és az AA Yield Pack genotípusban

#### 4.1.2.1.3. Pulyka (BUT Big 6 és bronzpulyka)

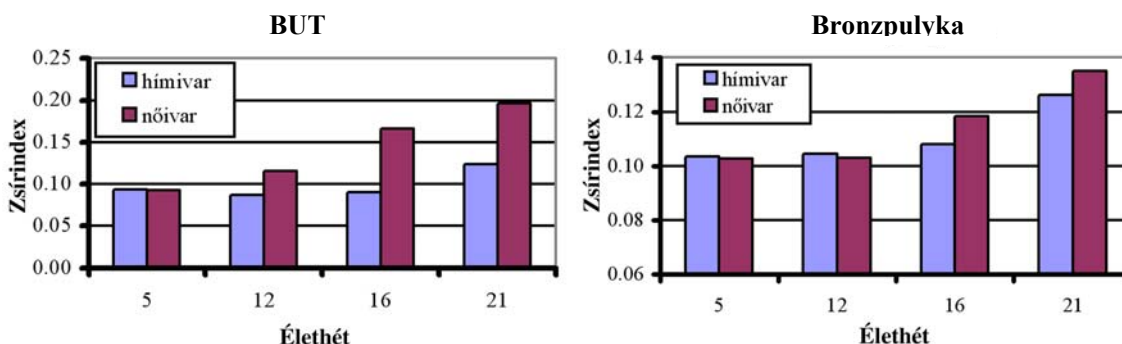
A baromfifélék között, de általában a húshasznú gazdasági haszonállatok közül is a pulyka fajban sikerült az értékes húsrészek növelésében a legnagyobb szelekciós előrehaladást elérni. Kísérletünkben arra kerestük a választ, hogy a bizonyos értelemben szelekciós kiindulópontnak tekinthető bronzpulyka és a mai modern nagytestű hibridek növekedésében a HU index alkalmazásával milyen eltérések detektálhatók.

Az 6. táblázat az élősúly és a mellizom térfogat változását szemlélteti a vizsgált időpontokban. Az életkor előrehaladtával párhuzamosan, mindkét genotípusban 12 hetes korig nőtt a színhústartalom (BUT 62 %, bronzpulyka 47 %). A bronzpulykában 12 és 21 hetes kor között már nem volt változás, ugyanakkor a BUT esetében enyhén csökkent az izomszövet teljестesthez viszonyított aránya (60 %), ami részben a későbbiekben bemutatásra kerülő elzsírosodással magyarázható. A modern hibridnek minden időpontban megközelítőleg 5-12 %-kal magasabb volt a színhús tartalma úgy, hogy miközben folyamatosan nőtt, 21 hetes korra megháromszorozódott a testsúlyban mért különbség.

**6. táblázat BUT Big 6 és bronzpulyka genotípusok élősúlya és mellizom térfogata 5, 12, 16 és 21 hetes korban (n = 6-6, élősúly (kg), mellizom térfogat (dm<sup>3</sup>))**

Genotípus	Ivar	5 hetes		12 hetes		16 hetes		21 hetes	
		súly	térfogat	súly	térfogat	súly	térfogat	súly	térfogat
BUT Big 6	♂	1.64	0.92	10.35	6.58	14.6	9.18	20.25	12.65
	♀	1.40	0.86	10.74	4.44	10.05	6.23	13.35	7.66
Bronzpulyka	♂	0.80	0.37	3.62	1.91	4.82	2.61	6.85	3.60
	♀	0.61	0.29	2.44	1.39	3.17	1.78	4.0	2.28

A továbbiakban a 4.1.2.1.2. fejezetben leírtak szerint képzett zsírindex ( $\Sigma HU_{v6-12} / \Sigma HU_{v1-40}$ ) segítségével hasonlítottuk össze a genotípusok, illetve azokon belül az ivarok zsírdepozícióját (32. ábra). A BUT hibrid esetében a növekedés során a két ivar elzsírosodása közötti különbség az idő előrehaladtával egyre nőtt. A nőivar zsírosodási hajlama sokkal kifejezettebb, már 12 hetes korban kimutatható volt. A változás mértékét jelzi a több, mint kétszeresére emelkedő index értéke. Hímivarban a test zsírtartalma a 16. hétig nem változott érdemben, utána azonban jelentősen növekedni kezdett. Az ivarok közötti testzsírtartalomban mért különbség kevésbé volt kifejezett a bronzpulykánál. Ennek egyik oka a fajtára jellemző lassúbb növekedés. Az első 12 hétben a zsírdepozíció mértékében nem mutatkozott jelentős eltérés a két ivar között, ugyanakkor azt követően fokozottabb mértékű zsírdepozíció tapasztalható nőivarban, a 16 hét után pedig a hímivarban is.



**32. ábra A zsírindex ivaronkénti változása a BUT, illetve a bronzpulykában**

Huszonegy hetes korban a teljестest zsírindex értékei alapján a sorrend genotípusonként és ivaronként a következő volt: BUT Big 6 hímivar (0.12), bronzpulyka hímivar (0.13), bronzpulyka nőivar (0.14), BUT Big 6 nőivar (0.20).



#### 4.1.2.1.4. Haltest

A haltest összetételének meghatározását célzó vizsgálatokat négy eltérő fajon (tógazdasági nemesponty, amur, busa, süllő) végeztük. Közülük a ponty célirányos szelekciója kezdődött a legkorábban, ugyanakkor a testösszetétellel összefüggő értékmérőkre eddig még nem szelektáltak. Ezt részben magyarázza az körülmény, hogy ipari feldolgozására csak elenyésző mennyiségben kerül. Más oldalról közelítve, megállapítható, hogy a vágóérték, vagy a filé kihozatal mérése munkaigényes és nehezen standardizálható. Vannak bizonyos indexek (pl. az ún. profilindex) és kondíció faktor érték, amelyek élő halakon leírják a testalakulást (Ankorion és mtsai, 1992). Újabban „has vastagság”, vagy adott ponton mért keresztmetszeti értékekkel próbálják a ponty karkasz minőséget jellemezni (Sahu és mtsai, 2000). Magyarországon a teljesítmény vizsgálatok utolsó lépése a vágóérték, a filé tömeg és a filé nyerszsírtartalmának mérése (Ponty Teljesítményvizsgálati Kódex 2, 1999). Igen lényeges ugyanakkor a ponty teljestest zsírtartalmának meghatározása is, mivel a fajt igen nagy mennyiségű deponált hasúri (visceral) zsír jellemzi.

Csengeri és mtsai (2000) eredményei szerint a magyarországi ponty típusok vágóértéke 53.6 és 60.4 % között változik. A szelektált változatok magasabb filé kihozatallal rendelkeznek, mint az ún. vad típusok (44.3, illetve 39.7 %). Lengyel és mtsai (2001) igen nagy varianciát írtak le a pontyfilé nyerszsírtartalmában, mind természetes vizekben ( $3.1 \pm 3.3$  %), mind pedig halastavakban ( $10.0 \pm 4.5$  %). Hasonló körülmények között németországi vizsgálatokban a vonatkozó érték  $8.5 \pm 4.4$  % (Schrenkenbach és mtsai, 2001). Eddig még nem vizsgálták a ponty genotípusokon belüli varianciát (Hancz és mtsai, 2002), ugyanakkor ismert, hogy a ponty testösszetételét a tartási körülmények mellett elsősorban a takarmányozás határozza meg (Fauconneau és mtsai, 1995).

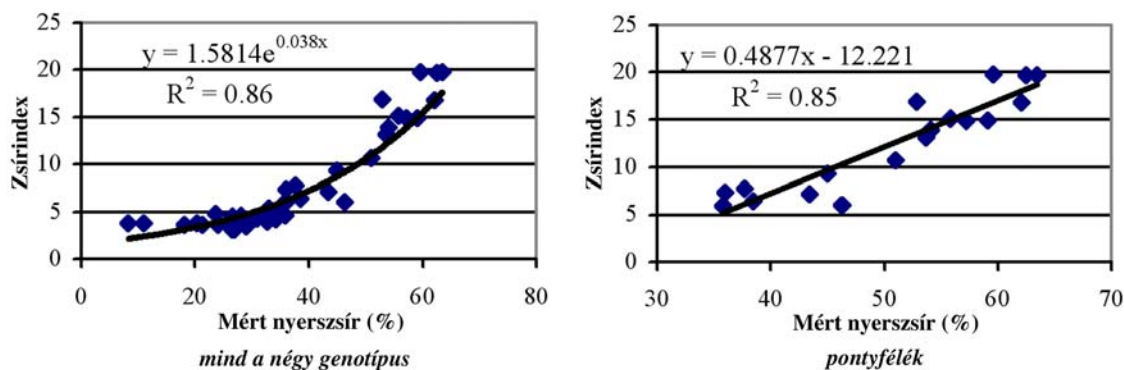
Kísérletünkben a CT felvételezést követően meghatároztuk a jobb filé kémiai összetételét. A fajonkénti értékeket a 7. táblázat mutatja.

**7. táblázat Az eltérő fajok filé összetételének jellemzői**

	Tógazd. ponty (n=18)		Amur (n=10)		Busa (n=10)		Süllő (n=10)	
	Átlag	SD	Átlag	SD	Átlag	SD	átlag	SD
Súly (g)	1790	442	2020	281	1577	241	1658	632
Vízart. (%)	70.5 <sup>a</sup>	6.63	73.4 <sup>a</sup>	1.30	75.2 <sup>a</sup>	2.76	80.9 <sup>b</sup>	0.75
Ny.fehérje(%)	12.7 <sup>a</sup>	3.61	16.3 <sup>b</sup>	0.77	17.6 <sup>b</sup>	0.57	16.0 <sup>b</sup>	0.57
Ny.zsír(%)	15.3 <sup>a</sup>	6.31	8.4 <sup>b</sup>	0.99	5.5 <sup>b</sup>	2.56	0.8 <sup>c</sup>	0.21
Ny.hamu (%)	0.96	0.31	1.19	0.17	1.25	6.9E-02	1.22	7.0E-02

A filé víztartalma 73 % körül mozgott a pontyfélékben (tógazdasági nemesponty, amur és busa) és 81 % volt a ragadozó süllőben. A legalacsonyabb nyersfehérje (13 %) és a legmagasabb nyerszsír értéket (15 %) a tógazdasági nemesponytnál mértük. A süllőn mért extrém alacsony zsírtartalom értékek (0.8 %) megerősítik Darázs és Aczél (1987) korábbi eredményeit.

A pixel denzitás értékeket a jobb filé területéről gyűjtöttük, a hátúszó régiójában. Halaknál szűkebb HU intervallum ((-)90-160) fedi le a zsír-izom tartományt. Ennek megfelelően az eredeti röntgensugár elnyelődési értékekből 25 HUv képeztünk, majd ezekből számítottuk az ún. zsír indexet  $[(\Sigma HUv1-9/\Sigma HUv1-25) \times 100]$ . A 33. ábra bal oldali grafikonján a négy genotípus, a jobb oldalon pedig pontyfélék filé zsírtartalma és a kémiai analízis eredményei közötti összefüggést mutatjuk be.



33. ábra A jobb filé szárazanyagra számított százalékos zsírtartalmának és a zsírintexnek összefüggése

A négy faj együttes ábrázolásakor a széles zsírtartalom tartományra jellemző kapcsolatot exponenciális függvénnyel lehet leírni. Ha azonban az alacsony zsírtartalmú süllőt kiemeljük a mintából, megközelítően 30 % nyerszsír tartalom felett, az összefüggés lineárisává válik.

Fauconneau és mtsai (1995) összefoglaló közleményükben igen nagy szóródást (1-13 %) adnak meg kereskedelmi méretű pontyok filéjének zsírtartalmában, amit elsősorban az alkalmazott takarmányozási rendszer befolyásol. Az amur ( $8.4 \pm 0.99$  %) és a busa zsírtartalma ( $5.5 \pm 2.56$  %) úgyszintén magasnak tekinthető. A túlzott zsírdeponálás kedvezőtlen ezen fajok húsmínőségének megítélése szempontjából. A ragadozó süllő extrém alacsony zsírtartalma ( $0.8 \pm 0.21$  %) ugyanakkor különleges minőségű terméket eredményez (Darázs és Aczél, 1987).

A zsírszövet térfogatos, HU indexen alapuló becslése jól alkalmazható a pontyfélék esetében. Ugyanakkor az extrém módon alacsony zsírtartalmú süllő vizsgálatánál ez a módszer nem megfelelő.

A fejezetben a HU index eltérő állatfajokon történt alkalmazásának **eredményeit** foglaltam össze. Ezek alapján a módszer gyors, tájékoztató eljárásnak tekinthető a teljestest zsírtartalmának *in vivo* becslésére. Az eljárás előnye, hogy a képfeldolgozás automatikussá tehető, ami igen gyors, ugyanakkor jól reprodukálható. Hátránya ugyanakkor, hogy két bizonytalansági tényezővel terhelt. Egyfelől nem tudja kezelni az ún. kevert pixel problematikát (lásd 4.3.1. fejezet), azaz különösen sok határfelületet (zsír-izom-csont) tartalmazó területeken hibával terhelt. Másrészt feltételezi a zsír- és az izomszövet jellemző denzitás értékének állandóságát, ami összehasonlító és növekedés vizsgálatok során nem minden esetben teljesül.

#### 4.1.2.2. HU változókon alapuló becslési eljárások

A fejezetben bemutatott eredmények többváltozós lineáris regressziós módszereken alapulnak. Felhasználva a 24. ábrán bemutatott összefüggést, az eredeti denzitásértékek összevonásából készített HUv-k adják a becslő egyenletek független változóit. A nyerszsír-, illetve a nyersfehérje tartalom meghatározását célzó korai vizsgálatokban (Vangen és mtsai, 1984) az MGLH módszerét alkalmazták. A későbbiek során a főkomponens analízis különböző változatain alapultak a becslési eljárások. Az MGLH módszert saját vizsgálatainkban utoljára nyúlra használtuk, majd felismerve annak hibáit, további értékeléseinkben a PCA eljárást alkalmaztuk. Legutóbbi vizsgálatainkban, nemzetközi szinten is elsőként, áttértünk a PLS módszer használatára a pixel gyakoriság értékek feldolgozásában. Utóbbi eljárást a 4.1.4., illetve a 4.3.1.1.4. fejezetben ismertetem.

#### 4.1.2.2.1. Húsnnyúl

A kísérleti állomány a 4.1.2.1.1. fejezetben leírtakkal azonos. A két eltérő genotípusba tartozó nyulakból két-két csoportot képeztünk (P: 192 és 26, illetve DxP: 165 és 23). A nagyobb létszámú csoport alapján történt a becslési eljárás kidolgozása, a kisebb pedig az egyenlet tesztelésére szolgált. Korábbi, PhD értekezésem (Romvári, 1996a) alapján megállapítható volt, hogy az összesen elkészített 21 felvételtől nyolc (a vállövi, a vesekörűli és a medence régióban 2, 3, illetve 3 felvétel /S1 és S2; S10,S11 és S12; S15,S16 és S17/) is elegendő a testösszetétel becslésére.

Ahogy az előző pontban már utaltam rá, az MGLH módszerén alapuló feldolgozás elsősorban a metodikai fejlesztés bemutatását szolgálja. Ennek megfelelően az ürestest zsírtartalmának meghatározására szolgáló egyenletek (Eq1 P, Eq2 DxP) jellemzőit a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat A teljestest zsírtartalmának becslése az MGLH módszerével

Eq1 (P)			Eq2 (DxP)		
R <sup>2</sup> = 0.85			R <sup>2</sup> = 0.85		
Változók	B	Sig. T	Változók	B	Sig. T
S16HU12	0.009345	0.0000	S2HU11	0.005738	0.0000
S1HU13	0.006618	0.0000	S11HU11	0.004098	0.0073
S2HU12	0.004768	0.0026	S2HU7	-0.007702	0.0079
S17HU8	0.009264	0.0000	S16HU13	0.007067	0.0010
S10HU15	0.00415	0.0002	S16HU10	0.006424	0.0002
S11HU7	-0.009771	0.0007	S1HU16	0.002398	0.0197
Konstans	3.949223	0.0000	S17HU11	0.00622	0.0025
			S15HU10	0.006125	0.0001
			Konstans	3.61827	0.0000

ahol Eq1 = 1. egyenlet, Eq2 = 2. egyenlet; S1, S2, S10, S11, S16, S17 = felvételek pozíciói; HUv7, HUv8, HUv12, HUv13, HUv15 = HU változók; B = regressziós koefficiens; Sig. T = szignifikancia szint.

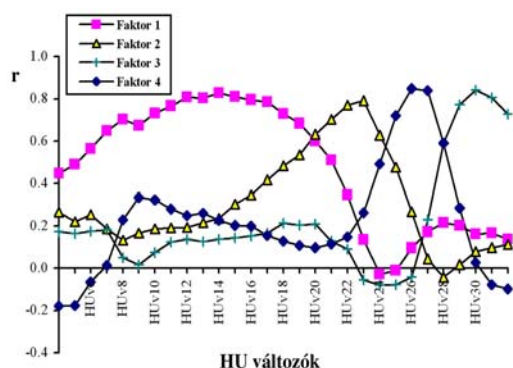
A két genotípusban kapott 0,85-ös R<sup>2</sup> érték megfelelő, azonban feltűnő, hogy a két egyenletbe vont független változók között nincs átfedés. A becslés megbízhatóságát jelentősen csökkenti az erős lineáris kapcsolat a szomszédos HU változók között [pl. HU9=(-120)-(-111), HU10=(-110)-(-101)]. Saját, valamint Storlien és Sehested (1992) vizsgálati eredményei alapján általánosan is megfogalmazható, hogy a CT képek feldolgozása során számított HUv közvetlen, független változóként történő bevonása olyan egyenleteket eredményez, amelyek értelmezési tartománya szűk, gyakorlatilag csak az alap adatállományra vonatkoztatható.

A további értékelés során alkalmazott főkomponens analízis segítségével ezt az ún. multikollinearitást mérsékeljük. A módszer lényege, hogy a sok, egymással csoportonként erősen korreláló változóból az információt néhány „főkomponens változóba” (Pc) koncentráljuk. A 9. táblázat szerint, genotípusonként és testtájanként különböző számú Pc írja le az eredeti változók (HU1 - HU40) varianciájának megközelítően 80 %-át.

9. táblázat A főkomponensek és az általuk leírt variancia %-a

Faktor sorszám	Pannon fehér			Dán fehér x Pannon fehér		
	Test régió és felvételszám					
	S1-2	S10-12	S15-17	S1-2	S10-12	S15-17
1	47.6	48.7	35.8	46.7	49.7	38.4
2	10.5	11.4	9.1	13.3	11.3	10.3
3	9.0	9.3	7.8	9.8	8.4	6.5
4	8.8	6.1	7.0	8.0	5.9	5.8
5	4.3	4.2	5.1		3.8	4.7
6			4.1			4.4
7			3.8			3.4
8			3.0			2.9
9			2.3			2.4
10			2.1			

Az S10, a vese régióját metsző felvétel esetében magyarázza az első négy faktort a 34. ábra. Az 1. faktor súlyozza a zsírtartományban lévő HU változókat. A 4. faktor csúcsot képez az izom denzitásnál. A 2. és 3. faktor súlyozza az eredeti változókat a 0-40 és a 80-120 HU intervallumban. A további, az ábrán nem szereplő faktorok interpretálása már nehezebb.



34. ábra A HU változók és a faktor „score” együtthatók közötti korreláció

A faktorok bemutatott mintája felvételtől-felvételre (S10, S11 és S12) hasonló módon ismétlődik a vese régiójában.

Összesen 12 Pc-t határoztunk meg az eredeti 232 HU változóból (S1, S2 - 2 x 29 HU változó → 4 Pc (F1-1, F2-1, F3-1, F4-1); S10, S11 és S12 - 3 x 29 HU változó → 4 Pc (F1-2, F2-2, F3-2, F4-2); S15, S16 és S17 - 2 x 29 HU változó → 4 Pc (F1-3, F2-3, F3-3, F4-3). Ezt követően, a vizsgált két genotípus esetében a becslő egyenleteket az MGLH stepwise módszerével készítettük (10. táblázat).

10. táblázat A főkomponens analízisen alapuló becslő egyenletek jellemzői

Eq 3 (P)			Eq 4 (DP)		
Változók	B	Sig. T	Változók	B	Sig. T
FAC1-1	0.804815	0.0000	FAC1-2	0.766952	0.0000
FAC2-1	0.689849	0.0000	FAC3-2	0.488005	0.0000
FAC2-3	0.731174	0.0000	FAC1-1	0.643751	0.0000
FAC1-3	0.491033	0.0000	FAC4-3	0.890567	0.0000
FAC3-3	0.387257	0.0000	FAC2-1	0.307091	0.0246
FAC4-1	0.179586	0.0473	FAC4-2	0.32398	0.0005
Konstans	7.688021	0.0000	FAC2-2	0.283488	0.0043
			FAC3-3	0.441146	0.0000
			FAC1-3	0.410769	0.0004
			FAC4-1	-0.186437	0.0372
			Konstans	8.255422	0.0000

ahol Eq3 = 3. egyenlet, Eq4 = 4. egyenlet; F1-1, F2-1...F4-3 = főkomponensek; B = regressziós koefficiens; Sig. T = szignifikancia szint.

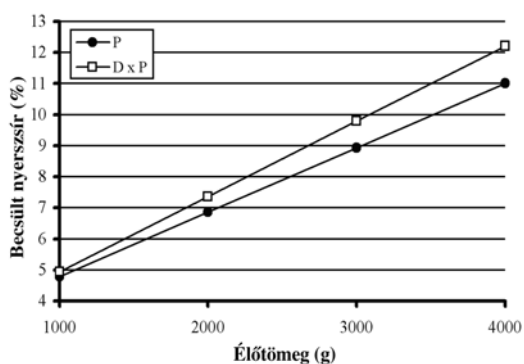
Ugyanezzel a módszerrel mindkét genotípusnál további egyenleteket fejlesztettünk a nyersfehérje és a szárazanyag meghatározása érdekében. A 11. táblázat összesíti ezen becslések eredményeit.

**11. táblázat. A becslő egyenletek szignifikancia szintjei**

Genotíp.	Jellemzők	konstans	A három testrégióból számított főkomponensek												R <sup>2</sup>
			F1-1	F2-1	F3-1	F4-1	F1-2	F2-2	F3-2	F4-2	F1-3	F2-3	F3-3	F4-3	
<b>P</b>	CF	***	***	***				•		•	***	***			0.85
<b>DP</b>	CF	***	***	*		*	***	**	***	***	**		***	***	0.92
<b>P</b>	CP	***					*	*	***					*	0.63
<b>DP</b>	CP	***			*		**	***	***	*	*			***	0.62
<b>P</b>	DM	***	***	***			*	*	**	**	**	**			0.87
<b>DP</b>	DM	***	***	**			***	***	***	***			***	***	0.92

(\*P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P< 0.001, • közelíti a P<0.1-et)

A keresztezett DxP állomány esetében kapott magasabb R<sup>2</sup> értékek valószínűsíthetően a genotípus nagyobb zsirtartalmának tulajdoníthatók, ugyanakkor a két állomány eltérő homogenitása sem zárható ki.



**35. ábra A becsült zsirtartalom változása a testsúly függvényében.**

A 35. ábra az Eq3-as és Eq4-es egyenleten alapuló nyerszsirtartalom becslés eredményét mutatja. A két genotípus közötti különbség a testsúly növekedésével párhuzamosan nő. Az egyenletekkel becsült nyerszsirtartalom változásával azonos tendenciát mutatnak a 12. táblázatban közölt, próbavágáson és kémiai analízisen alapuló értékek. Minden 100 g-os testsúly emelkedés esetén az ürestest zsirtartalma 0.19, illetve 0.23 %-kal nő a P, illetve a DxP genotípusban. Ezen értékek jó egyezést mutattak Fraga és mtsai (1983) adataival, ugyanakkor Ferreira és mtsai (1996) nagyobb növekedést tapasztaltak.

**12. táblázat A vizsgált genotípusok zsirtartalmának változása az életkor függvényében**

Genotípus	Életkor (hét)					
	6	8	10	12	14	16
<b>P</b>						
n	26	35	51	45	33	28
Testsúly, g	1158	1726	2269	2713	3181	3310
Vesekörüli zsír, g	5	7	12	22	28	39
Vállövi zsír, g	2	3	4	6	7	8
Nyerszsír, %	5.3	6.2	7.4	8.7	9.2	9.4
<b>DxP</b>						
n	25	30	44	36	22	31
Testsúly, g	1123	1716	2247	2722	3124	3416
Vesekörüli zsír, g	5	8	14	19	34	43
Vállövi zsír, g	2	3	5	7	9	10
Nyerszsír, %	5.7	6.3	8.3	8.6	10.6	10.9

Végül a főkomponens analízissel fejlesztett, a nyerssirtartalmat becsülő egyenleteket független állományon teszteltük (26 P, illetve 23 DxP egyeden). Ennek során a CT felvételekből képzett HU változókból új faktorokat képeztünk, amelyeket visszahelyettesítettünk az eredeti egyenletbe. A mért, valamint az Eq3, illetve Eq4 egyenlettel becsült nyerszsír értékek közötti összefüggés  $R^2$  értéke a két genotípusban 0.68-nak és 0.77 volt ( $P < 0.05$ ).

Az elért eredmények alapján az alkalmazott főkomponens analízis segítségével a nyerszsír-, valamint a szárazanyag-tartalom jól becsülhetőnek bizonyult, ugyanakkor a nyersfehérje meghatározásra egyik módszer sem javasolható. Bár az MGLH módszer szorosabb  $R^2$  értéket eredményezett (Eq1 és 2), az alkalmazott főkomponens analízis (Eq3 és 4) sokkal robusztusabb. Hasonló eredményeket kaptak brojler csirkéken végzett vizsgálataik során Bentsen és Sehested (1989), Svihus és Katle (1993), valamint Romvári és mtsai (1994).

#### 4.1.2.2.2. Brojlercsirke

A teljestest kémiai összetételének meghatározására irányuló vizsgálatok kapcsolódnak Sütő és mtsai (1998) 20 hetes életkorig folytatott tartamkísérletéhez. Az összesen 144 CT-vel vizsgált, illetve teljestest analízisbe vont Arbor Acres Regular brojler véletlenszerűen két csoportra (94, illetve 47 egyed) osztottuk. A kidolgozott becsülő egyenletek az első csoport vizsgálati eredményein alapultak, az összefüggések megbízhatóságának vizsgálatát a második csoport segítségével végeztük a főkomponens analízis módszerével. A változók számát a 4.1.2.1.2 fejezetben alkalmazott 40 helyett 31-re csökkentettük (HU(-)170-HU140), a zsír-izom eloszlás határértékeinek optimalizálásával.

Először a teljestestre vonatkozó, összegzett denzitás eloszlások alapján meghatározott, ezt követően pedig a kialakított nyolc test-intervallumon (Int) belül az abdominális régiót kiemelve (Int 6, 7 és 8) is elvégeztük a biometria feldolgozást. A PC analízis eredményeként az első közelítésnél 31 változó esetében 3, a 93 változónál pedig 6 főkomponenst kaptunk. (Int 6,7,8 - 3 x 31 HU változó → 6 Pc (F1, F2, ... F6) (13. táblázat). Az első két egyenlet a teljestestre vonatkozó 3 Pc-ből készült az MGLH módszerével (14. táblázat).

**13. táblázat A főkomponens analízisből származó faktorok és az azok által lefedett varianciarány**

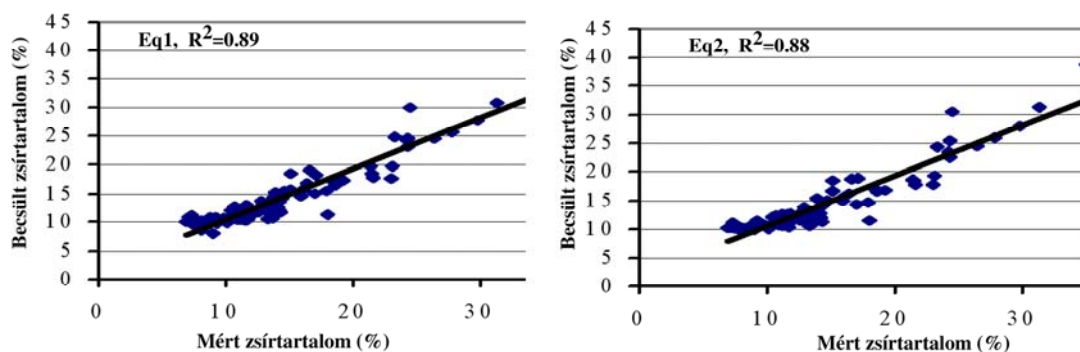
Faktor sorszám	Varianciarány (%)	
	Teljestest	Abdominális régió
1	81.3	30.2
2	11.2	25.3
3	3.1	16
4		1.5
5		4.9
6		4.6

**14. táblázat A teljestestből számított, főkomponensek felhasználásával MGLH módszerével készült becsülő egyenletek alapadatai**

Eq 1	$R^2 = 0.89$	SEE = 2.01	Eq 2	$R^2 = 0.88$	SEE = 2.04
Változó	B	Sig. T	Változó	B	Sig. T
FAC1	3.450	0.005	FAC1		0.000
FAC2	7.184	0.000	FAC2		0.000
FAC3	1.520	0.053			
élő súly	-0.00308	0.039			
konstans	21.991	0.000	konstans	14.305	0.000

Eq1 = 1. egyenlet, Eq2 = 2. egyenlet; F1, F2...F5 = főkomponensek; B = regressziós koefficiens ; Sig. T = szignifikancia szint, SEE = a becslés standard hibája.

Míg az első egyenletben (Eq1) az élősúly, mint független változó szerepelt, a stepwise regresszió módszerével készült “Eq2” egyenletben ezt nem vettük figyelembe (36. ábra).



**36. ábra** A teljestest kémiai analízissel meghatározott és PC analízissel az Eq1 és Eq2 egyenlet alapján becsült zsírtartalom közötti összefüggés

A két közelítés hasonló erősségű összefüggést mutat, ami jelzi a teljestest zsírtartalmának testsúlytól független becslésének lehetőségét. Az “Eq3” és “Eq4” egyenlet az előzőek analógiájára készült, összesen hat, az abdominális régióból származó főkomponensre alapozva (15. táblázat).

**15. táblázat** Az abdominális régióból számított főkomponensek felhasználásával MGLH módszerével készült becsülő egyenletek jellemzői

Eq 3      R² = 0.88      SEE = 2.12			Eq 4      R² = 0.86      SEE = 2.26		
Változó	B	Sig. T	Változó	B	Sig. T
FAC1	6.768	0.000	FAC1	5.232	0.000
FAC2	2.671	0.000	FAC6	1.118	0.000
FAC3	1.699	0.000	FAC5	0.964	0.000
FAC4	1.398	0.001	FAC2	0.771	0.000
FAC5	1.516	0.000			
FAC5	1.414	0.000			
élősúly	-0.00253	0.000			
Konstans	21.552	0.000	Konstans	14.436	0.001

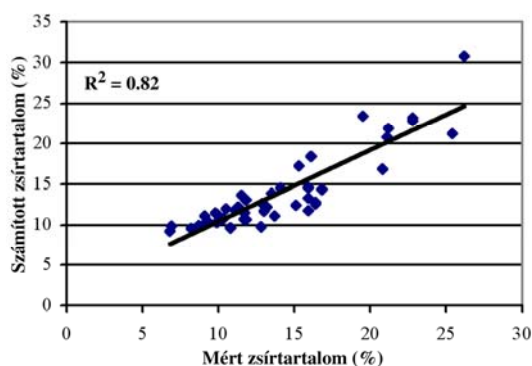
Eq3 = 3. egyenlet, Eq4 = 4. egyenlet; F1, F2...F6 = főkomponensek; B = regressziós koefficiens; Sig. T = szignifikancia szint

A teljestest zsírtartalma és az abdominális zsír mennyisége között lévő szoros összefüggésre enged következtetni, hogy az egyenletek becslési pontossága közelít a teljestesten alapuló eredményekhez.

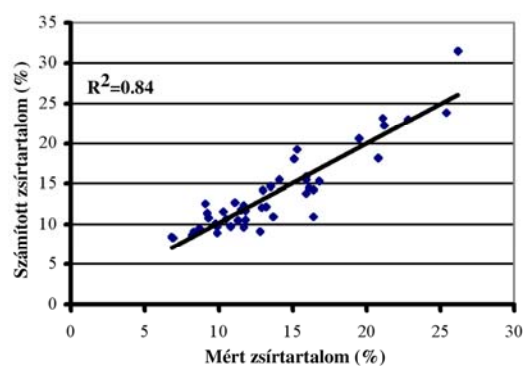
Azonos módszerrel kísérletet tettünk a nyersfehérje tartalom becslésére is. A nyulakon elért eredményekhez (4.1.2.2.1.) hasonlóan az R² értékek 0.39 és 0.44 között változtak, az alkalmazott modelltől függően. Ezeket az értékeket nem tekintjük megfelelőnek a nyersfehérje tartalom megbízható becslésére.

Ezt követően fent részletezett becsülő egyenleteket 47 brojlerből álló második csoporton teszteltük. A teljestesten alapuló egyenleteket (Eq1, Eq2) alkalmazva a kémiaileg meghatározott zsírtartalomra vonatkozóan 0.82 illetve 0.81-es R² értékeket kaptunk (37. ábra). Hasonló szorosságú az összefüggés az abdominális régióra alapozott Eq3 és Eq4

egyenletek független állományon történő tesztelésekor (Eq3:  $R^2 = 0.88$  és  $0.84$ , Eq4:  $R^2 = 0.86$  és  $0.83$ ) (38. ábra).



**37. ábra** Az Eq1-es (az eredeti állományon alapuló) egyenlet független állományon való tesztelése



**38. ábra** Az Eq3-as (az eredeti állományon alapuló) egyenlet független állományon való tesztelése

Figyelemre méltó módon az abdominális régió alapuló becslés (amely a teljes vizsgált térfogat 3/8-a) a teljestesten alapuló közelítéssel azonos eredményt adott. A kémiai analízis eredményei és a pixeldenzitás értékek közötti korreláció megfelelően szoros a becslő egyenletek szerkesztéséhez. A metodika brojlercsirke esetén is jól alkalmazható a zsírtartalom becslésére, ellenben nem használható a fehérjetartalom meghatározásához.

A számított és a tényleges zsírtartalom közötti szoros összefüggés megegyezik Bentsen és Sehested (1989), Svihus és Katle (1993), valamint Romvári és mtsai (1994) brojleren végzett vizsgálatainak eredményeivel. Az egyenleteket független adatállományon tesztelve, a mért és a becsült zsírtartalom közötti kapcsolat jónak mondható. Különösen az abdominális régióra vonatkozó  $0.84$ -es  $R^2$  érték bizonyítja a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát. Az eljárás hatékonyan helyettesítheti a közvetlen kémiai analízisen alapuló méréseket, ugyanakkor nem invazív jellegéből adódóan ugyanazon egyed ismételt vizsgálatára is alkalmas. Mivel 10-15 perc szükséges három brojlercsirke szimultán teljestest felvételezéséhez, nem csupán a vizsgálati időt, hanem ezzel összefüggésben a vizsgálati költségeket is jelentősen csökkenthetjük, amennyiben a CT felvételezést csupán az abdominális régióra korlátozzuk.

#### 4.1.2.2.3. Haltest

Az előző két alfejezetben használt módszerrel a 4.1.1.4-es pontban ismertetett állományon történt a becslő egyenletek felállítása. A korábbiakhoz képest eltérő, hogy itt nem a teljestest, hanem a halfilé kémiai összetételét vizsgáltuk. A főkomponensek meghatározásánál a négy halfajt először együtt kezeltük. Ezt követően, tekintettel a süllő és a pontyfélék jelentősen eltérő testösszetételére (6. táblázat) külön csak a pontyfélékre is számoltunk főkomponenseket, először a teljestest, majd a hátúszó tájékaról készített felvételek HU változóiból (16. táblázat). A választott közelítéstől függően eltérő számú főkomponens írja le az eredeti változók (Huv11-Huv35) varianciájának 90 %-át.



16. táblázat A főkomponensek által leírt variancia százaléka

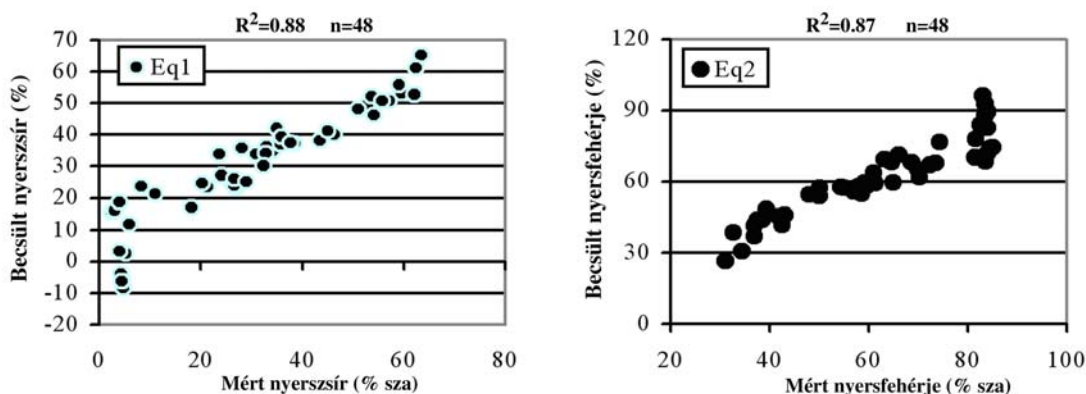
Faktor sorsszám	Varianciarányad (%)		
	Összes hal	Pontyfélék	Hátúszó tájéka
1	38.5	50.7	44.5
2	27.5	21.0	35.5
3	11.4	6.1	5.9
4	4.9	5.7	5.2
5	3.4	2.9	
6	2.2	2.5	
7	1.8	1.9	
8	1.2		

Az első közelítésben összesen nyolc Pc írta le az eredeti 200 változó (S1, S2... S8 – 8 x 25 HUv) varianciájának 90.9 % -át. Az MGLH módszerével készült becslő egyenletek jellemzőit a 17. táblázat tartalmazza. A mért és a becsült szárazanyagra számított zsír és fehérje tartalom összefüggése a 39. ábrán látható.

17. táblázat. A főkomponensek felhasználásával az MGLH módszerével készült, a teljes mintát becslő egyenletek jellemzői

Eq 1			Eq 2		
Változók	B	Sig. T	Változók	B	Sig. T
FAC2_1	-17.238472	0.0000	FAC2_1	14.846678	0.0000
FAC4_1	-5.085230	0.0000	FAC4_1	4.833547	0.0000
Konstans	30.852083	0.0000	FAC3_1	-2.227	0.0311
			Konstans	61.647917	0.0311

Eq1 = 1. egyenlet, Eq2 = 2. egyenlet; F1-1, F2-1...F4-3 = főkomponensek; B = regressziós koeficiens; Sig. T = szignifikancia szint.



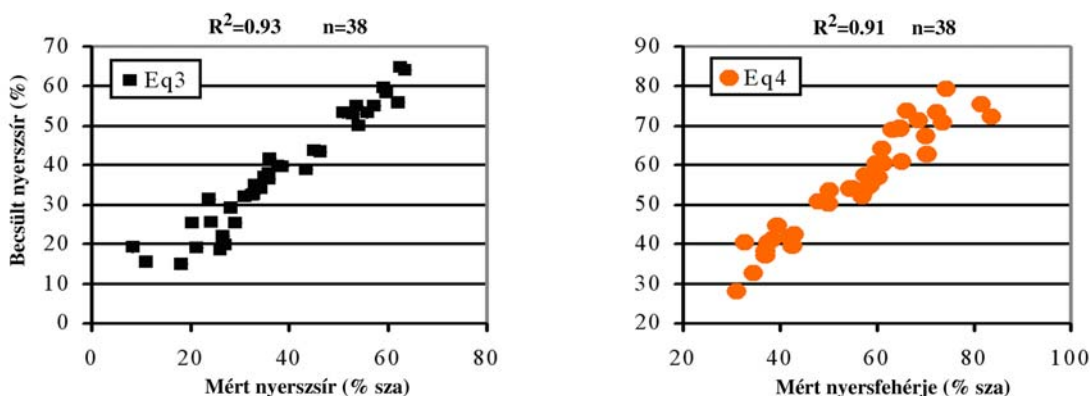
39. ábra A mért és a számított zsír, illetve fehérje tartalom összefüggése a teljes mintán

A módszer alacsony zsírtartalom melletti gyenge érzékenysége miatt a süllő zsírtartalma túl kicsinek bizonyult, ezért egy új adatbázist állítottunk össze. A pontyfélék esetében ennek használatakor hét Pc írta le az eredeti változók varianciájának 90.9 % -át. Az egyenletek jellemzőit a 18. táblázat tartalmazza. A 40. ábra a mért és becsült értékek összefüggését mutatja.

**18. táblázat A főkomponensek felhasználásával MGLH módszerével pontyféléken készült becslő egyenletek jellemzői**

Eq 3			Eq 4		
Változók	B	Sig. T	Változók	B	Sig. T
FAC2_1	11.982509	0.0000	FAC2_1	-11.001236	0.0000
FAC3_1	-6.077572	0.0000	FAC3_1	6.020099	0.0000
FAC1_1	-4.007203	0.0000	FAC1_1	3.624701	0.0000
FAC6_1	-2.587027	0.0006	FAC6_1	2.442464	0.0024
FAC4_1	-2.099345	0.0055	FAC4_1	2.061689	0.0088
FAC7_1	1.571003	0.0327	Kostans	55.878947	0.0000
Konstans	37.855263	0.0000			

Eq3 = 3. egyenlet, Eq4 = 4. egyenlet; F1-1, F2-1...F4-3 = főkomponensek; B = regressziós koefficiens; Sig. T = szignifikancia szint.



**40. ábra A mért és a számított zsír, illetve fehérje tartalom összefüggése pontyféléknél**

Figyelemmel a vizsgálati idő csökkentésének lehetőségére, további egyenletek készültek a hátúszó tájékáról. Az eredményül kapott 0.79, illetve 0.78  $R^2$  azt bizonyítja, hogy a vizsgált régió önmagában is alkalmas pontyfélék testösszetételének becslésére. Hasonló elvű feldolgozást végeztünk más tógazdasági ponty állományokon is (Hancz és mtsai, 2003).

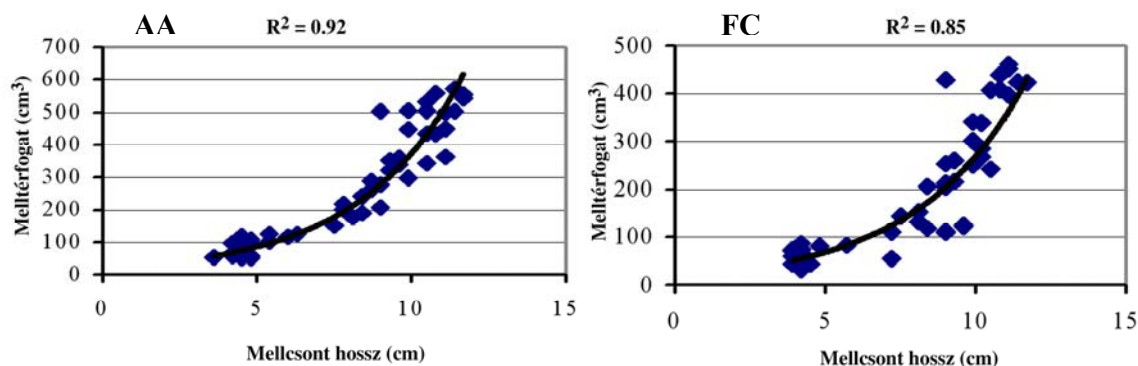
A HU változókon alapuló, a kémiai testösszetétel becslésére kialakított eljárások eredményei alapján **összefoglalva** megállapítható, hogy állatfajtól függetlenül a nyerszsír-tartalom igen jól mérhető, ugyanakkor a nyersfehérje-tartalom meghatározás pontossága nem kielégítő. Ennek hátterében az áll, hogy a zsírszövet és a kémiaileg meghatározott nyerszsír kapcsolat lényegesen szorosabb az izomszövet és a nyersfehérje összefüggésénél. Lényeges megfigyelés, hogy a vizsgált állatfajok mindegyikénél lehetőség volt a felvételszám jelentős csökkentésére, a testösszetételt önmagában is jól jellemző régiók (nyúlón: vállöv, vesetájék, medence; brojlercsirkén: abdominális régió; halon: hátúszó területe) kiemelésével. A főkomponens analízis módszere megfelelő az eredeti HUv-k közötti multikollinearitás feloldására. A becslőegyenletek független állományon való tesztelése azok gyakorlati alkalmazhatóságát jelezte. További vizsgálatainkban kísérletet tettünk a becslési eljárás PLS regresszió alapuló javítására. Az eredményeket a 4.1.4. és a 4.3.1.1.4. fejezet tartalmazza.

### 4.1.3. Morfológiai viszonyok vizsgálata 3D rekonstrukciókkal

A keresztmetszeti képalkotás gyors fejlődése, elsősorban a számítógépes háttér teljesítményének emelkedése, lehetővé teszi valós 3D rekonstrukciók elkészítését. A fejezet csak néhány példa bemutatására szorítkozik, annak hangsúlyozásával, hogy a módszertan állattenyésztési alkalmazási lehetőségei még korántsem merültek ki.

#### 4.1.3.1. Baromfifélék mellizomzatának alakulása

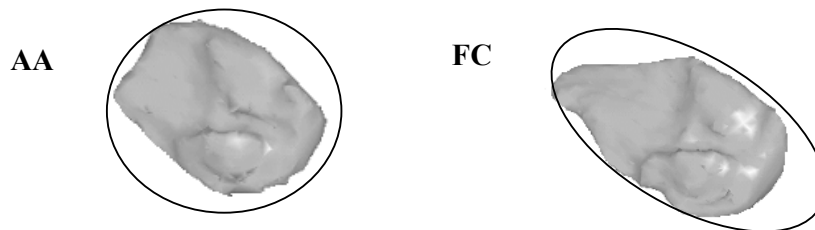
A kísérletben Arbor Acres Regular (AA) és Foxy Chick (FC) húshibridet vizsgáltunk 2 és 9 hetes kor között, hetenkénti gyakorisággal. A képfeldolgozás első lépéseként a mellcsont hosszúsága és a mellizom térfogata között fennálló kapcsolatot elemeztük. A teljes vizsgálati adatállományban az egyedi adatok kapcsolatát exponenciális függvény illesztésével írtuk le (41. ábra). A két tulajdonság között az AA genotípusban  $R^2 = 0.91$ , míg az FC genotípusban  $R^2 = 0.85$  erősségű összefüggés áll fenn.



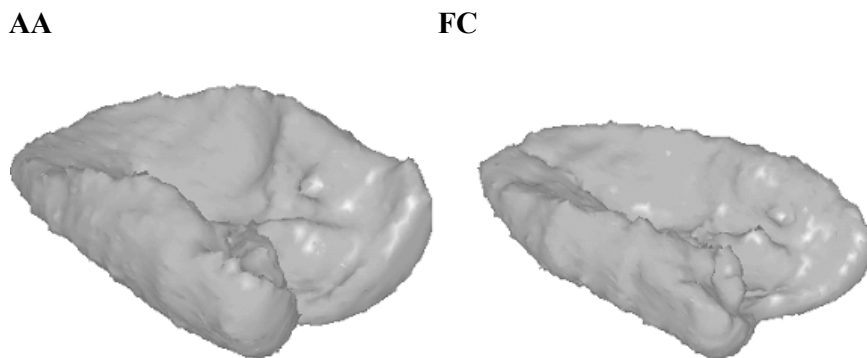
41. ábra A mellcsont hosszúsága és a mellterfogat nagysága közötti összefüggés AA és FC brojlereknél (n = 40-40)

Az illesztett függvény konstansa, illetve a kitevő értéke az AA brojler esetében nagyobb, jelezve, hogy ebben a genotípusban egységnyi mellcsont hosszúság növekedéséhez nagyobb mellizom térfogat növekedés társul. Lehetőség van a mellcsont felszínének meghatározására is, igaz lényegesen időigényesebben és jelentősen nagyobb felvételszám alapján, a 3D rekonstrukcióval készített modellekről származtatva. A mellcsont felszín és a mellterfogat közötti kapcsolat kifejezésére a két érték hányadosából képzett index használható. A számított értékeknek a vizsgálati életkor emelkedésével párhuzamos csökkenése (AA és FC genotípusban; 2., illetve 9. élethéten: 0.43 és 0.56, illetve 0.22 és 0.25) az egységnyi csontfelszínre jutó izomtérforat növekedését jelzi. Az AA genotípus minden mérési időpontban alacsonyabb index értékkel jellemezhető, ami azt jelenti, hogy egységnyi *sternum* felszínre nagyobb izommennyiség jut.

A mért izomfelszín és izomtérforat hányadosával a mellizomzat geometriája jellemezhető. Kéthetes életkortól kezdve folyamatosan csökken az érték, jelezve a *pectoralis* izomzat kompaktabbá válását (relatív kis mellizom hosszúság párosul viszonylag nagy mellizom keresztmetszettel). Morfológiai szempontból egyfajta kiegyenlítődés megy végbe, amennyiben a kéthetesen megállapított (AA: 2.23, FC: 2.65) és a hatodik élethéten még jól érzékelhető különbség, 9 hetes korra jelentősen csökken (AA: 0.94, FC: 1.04) a két brojler genotípus között. A hat hetes korban meglévő morfológiai különbségeket a 42. ábra, a kísérlet végpontjára jellemző geometria eltéréseket pedig a 43. ábra szemlélteti.



**42. ábra** Hat hetes Arbor Acres és Foxy Chick brojlerek mellizmának *sagittalis* síkú 3D rekonstrukciója

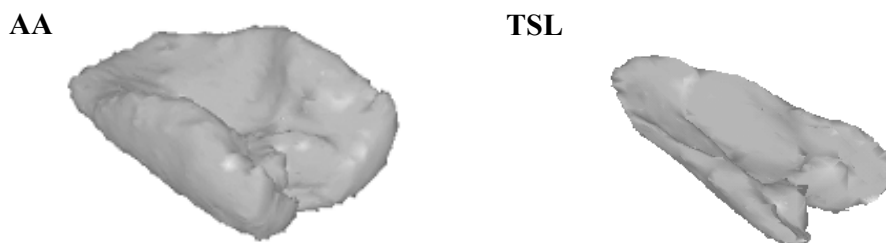


**43. ábra** Kilenc hetes Arbor Acres és Foxy Chick brojlerek mellizmának 3D rekonstrukciója

Egységnyi térfogatú test felszíne annál kisebb, minél inkább közelít alakja a gömbéhez. A 6 hetes állapotot mutató 42. ábra szemlélteti az ún. kompaktság fogalmát, amennyiben a *sagittalis* metszetekre illesztett geometriai primitívek jól érzékeltetik a gömb és az ellipszoid térformák különbségeit.

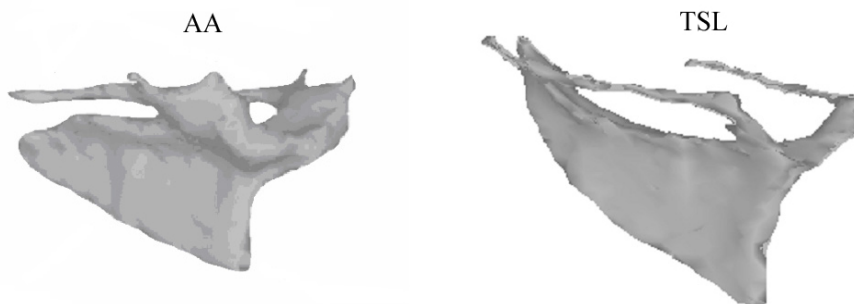
Az összehasonlító vizsgálatban szereplő Shaver Starcross 288 (S) és Bábólna Tetra SL (TSL) tojótípusú állományoknál a számított izomfelszín/izomtérfogathatóság index értéke 8 és 20 hetes kor között csökkent (S és TSL; 8., illetve 20. élethéten: 2.63 és 2.39, illetve 1.96 és 1.58). A vizsgálati periódus alatt a mellizomzat egyre kompaktabbá vált, ugyanakkor minden mérési időpontban a középnehéz Tetra SL izomzata “tömörebb” volt, mint a könnyű testű tojóhibridé.

Anatómiailag érdekes a két szélsőségesen eltérő hasznosítási irány azonos tömegben (2000 g) történő összehasonlítása. Az 44. ábrán bemutatott mellizomzat rekonstrukció 5 hetes brojlerről, illetve 20 hetes középnehéz testű tojóról készült.



**44. ábra Öt hetes Arbor Acres, valamint 20 hetes Tetra SL mellizomzatának 3D rekonstrukciója**

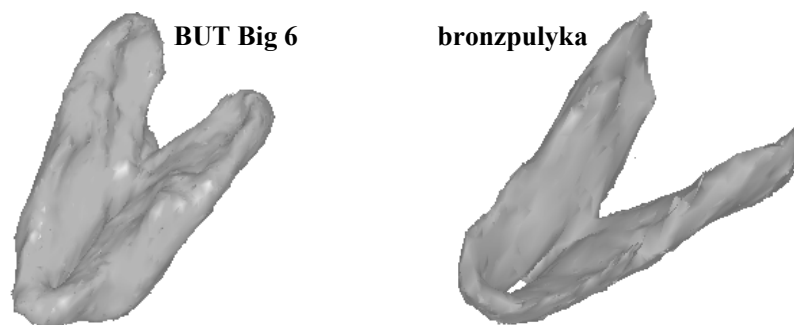
A jelentős morfológiai eltérés a mellcsont felépítésében is megmutatkozik (45. ábra). A hústípusú egyed mellcsontja sokkal erősebb, a tojótípusú tyúk mellcsontjának felépítése viszont lényegesen finomabb csontszerkezetre utal.



**45. ábra AA brojler és Tetra SL sternum 3D rekonstrukciója 2000 g-os élő súlyban**

Többen (Lubritz, 1997; Agapova és Sutchkova, 2000) vizsgálták a mellcsont különböző méret jellemzői, valamint a ráépülő izomzat mennyiségének kapcsolatát. A csontszerkezeti tulajdonságok örökölhetőségével kapcsolatban ugyanakkor kevés az adat. A könnyen mérhető lábszár hosszának  $h^2$  értékét Suneel (1988) 0.08-nak adja meg. Miután a mellcsont és különösen a ráépülő *pectoralis* izmok morfológiája hagyományos módszerekkel nem mérhető, a CT ilyen irányú felhasználása igen perspektívikusnak tekinthető.

Pulykán végzett összehasonlító vizsgálataink során (4.1.1.1.3.) is kihasználtuk a rendelkezésünkre álló rekonstrukciós lehetőségeket. Ennek megfelelően a 46. ábrán a BUT és bronzpulyka mellizomzatának 3D rekonstrukcióját láthatjuk, 21 hetes korban.



**46. ábra Huszonegy hetes BUT Big 6 és bronzpulyka mellizomzatának 3D rekonstrukciója**

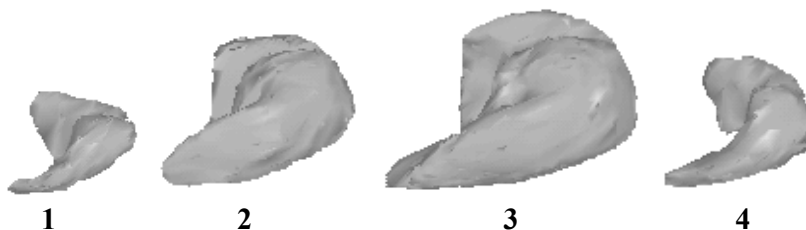
Az izomszövetben a *sternum* és a *clavicula* lenyomata jól kirajzolódik. A két genotípus közötti morfológiai különbség rendkívül erős. A BUT *sternuma* hosszabb (18 cm), mint a bronzpulykéé (15.6 cm), ez azonban a nagy élő súly különbségre tekintettel nehezen értékelhető. A megfigyelteteket bizonyos értelemben megerősítik Nestor és mtsai (2001) vizsgálatai, akik reciprok keresztezett kísérleti vonalakat és kereskedelmi brojlerek apai vonalait vizsgálták a vágott test jellemzőinek örökölhetősége szempontjából. Eredményeik szerint az egyetlen olyan paraméter, mely a vonalak között megegyezett a *sternum* hossza volt.

A BUT hibridben a mellizomzat a *sternumot* teljesen beborítja. A modern genotípust közel kétszeres mellszélesség jellemzi (21.6 és 10.6 cm). Az eltérés elsősorban a *m. pectoralis superficialis* izmot érinti, ennek térfogata BUT hibridnél lényegesen nagyobb. Lilburn és Nestor (1991) hasonló következtetésre jutott különböző genotípusú pulykák mellizomzatának vizsgálata során, amennyiben jelentős különbséget csak a *m. pectoralis superficialis*-nál tudtak kimutatni. Az egyes típusok ugyanakkor kevésbé különböztek egymástól a *m. pectoralis profundus* tekintetében.

#### 4.1.3.2. Hízott libamáj kialakulása

A 4.1.4.-es fejezetben részletezett, a libamáj zsírtartalmának *in vivo* meghatározására szolgáló vizsgálatokhoz kapcsolódva 3D rekonstrukciók segítségével jellemeztük a töméses hizlalás során a máj geometriai viszonyait.

A 47. ábrán (1. időpont) a tömést előkészítő szakaszt követő, kezdeti májtérfogat (85 cm<sup>3</sup>) látható. A 21 napig tartó tömés eredményeképpen (3. időpont) a térfogat (395 cm<sup>3</sup>) több, mint négyszeresére nőtt. Két héttel a tömés befejezése után (4. időpont) pedig megközelítette a kiindulási értéket (108 cm<sup>3</sup>), annak ellenére, hogy a takarmány *ad libitum* állt rendelkezésre. Hasonló megfigyelést tett Prehn (1997). Eredményei szerint a máj a tömés befejezésétől számított négy héten belül eredeti állapotába tér vissza, tekintettel arra, hogy a tömött libák ebben az időszakban gyakorlatilag nem vettek fel takarmányt.



**47. ábra Libamáj 3D rekonstrukciója tömési szakaszonként**

(1=tömést előkészítő szakasz vége, 2=a tömés 14. napja, 3=a tömés 21. napja, 4=két héttel a tömés befejezése után)

A bemutatott 3D rekonstrukció úgy jeleníti meg a máj valós anatómiai viszonyait, ahogy az a vágást követően nem lehetséges, miután annak során a májlebenyek elveszítik eredeti formájukat. Az előkészítést követő, illetve a tömés utáni visszaalakulási fázis összehasonlítása jól szemlélteti, hogy a tömés során bekövetkező térfogat és konformáció változások reverzibilisek. A májösszetétel kémiai változásait a 4.1.4. fejezetben tárgyalom.

**Összefoglalva**, az előzőekben bemutatott, a spirál CT felvételek szekvenálásán alapuló 3D rekonstrukció jól alkalmazható az izomcsoportok pontos geometriai megjelenítésére. A meglehetősen nagy számú *in vivo* felvételen alapuló 3D modellezés további előnye, hogy a próbavágással, illetve a darabolással szemben a valós anatómiai viszonyok tisztázhatók. Eredményeink szerint brojlersírkén a melltérfogat és a *sternum* hossza közötti kapcsolat exponenciális függvénnyel leírható. A keresztmetszeti felvételek alapján a mellcsont felszíne is mérhető, ez azonban nem nyújt további információt a mellcsont hosszán alapuló feldolgozáshoz képest. Az izomfelszín és izomtérfogat hányadosából képzett index segítségével számszerűsíthetők a mellizomzat főbb geometriai jellemzői és változásuk a növekedés során. Ezen indexek, valamint a 3D rekonstrukciók alapján a hasznosítási irányok, ezen belül pedig a genotípusok is jól elkülöníthetők.

A mellizomzat, illetve a májbeépülés kedvező vizsgálati eredményei alapján a módszer egyszerűsített változata a Pannon fehér nyúl szelekciós programjának részévé vált. Ennek értelmében a korábban a hosszú hátizom két ponton mért metszési felszínének mérésén alapuló, a vágóérték javítását célzó vizsgálatokat (Szendrő és mtsai, 1992; Romvári, 1996d) felváltotta a hátulsó rész (hátulsó lábak) térfogatának sorozatfelvételeken alapuló mérése.

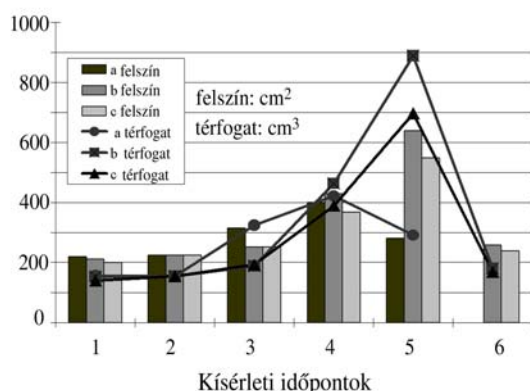
#### 4.1.4. Libamáj zsírtartalmának mérése

A lúdtenyésztők egyik fő célkitűzése a lehető legnagyobb májtérfogat elérése a töméses hizlalás során, úgy, hogy emellett annak zsírtartalma a fogyasztók és az ipari feldolgozás számára is megfelelő legyen. Bizonyos mértékű *steatosis* természetes körülmények között is előfordul a vadon élő viziszarvasokban, a vándorlást megelőző felkészülési periódusban. Ezt az élettani folyamatot hasznosítják a baromfitenyésztésben a májelőállítás során. Ismert, hogy az egyes lúdfajták, illetve ezek hibridjei jelentősen különböznek májuk elzsírosodási hajlamában (Hermier és mtsai, 1991). A jelen vizsgálatban szereplő szürke landeszi májliba a tömésre adott reakció szempontjából egyike a legjobbaknak (Mourot és mtsai 2000).

Töméses hizlalás során a takarmány eredetű trigliceridek nagy mennyiségét a máj akkumulálja, nagyfokú májsejt hipertrofia mellett (SCAHAW, 1998). A tömött libamáj összes zsírtartalma eléri az 50-55 %-ot. Lehetőség van ugyanakkor a májsejtek nagyfokú adaptációs képességének kihasználásával nagy májtömeg elérése mellett is olyan minőségű máj előállítására, melyből hőkezelés során az összes zsírtartalom veszteség nem haladja meg a 14 %-ot (Guy, 2000).

Az itt bemutatásra kerülő vizsgálatok a töméses hizlalást megelőző előkészítő szakaszra koncentrálnak és új szelekciós módszer kidolgozására irányulnak (Bogenfurst 1992), különös figyelemmel az úgynevezett töméses-hizlalás mentes, állatbarát eljárásokra. A kísérleteket két részre osztottuk. Az első metodikai célú vizsgálatokban három landeszi libát (A, B, C) vittünk CT-re, összesen hat alkalommal (11, 15, 16, 17, 18 és 20 hetesen), a töméses hizlalást megelőzően négy héttel, annak során és két héttel befejezését követően. A második vizsgálatba összesen 70 gunarat vontunk be. Először az előkészítő szakasz végén, majd a tömés 13., 18., 19., 20., 21. és 22. napján történt CT felvételezés a máj zsírtartalom *in vivo* meghatározása céljából.

A módszertani kísérlet során az ismételt CT felvételezés nem befolyásolta a májbeépülést, mivel a tömést követő végső májtömeg a töméses hizlalásban résztvevő, de CT-n nem vizsgált egyedekével azonos volt. A tömés során mért májtömeget és májfelszínt a 48. ábra szemlélteti.

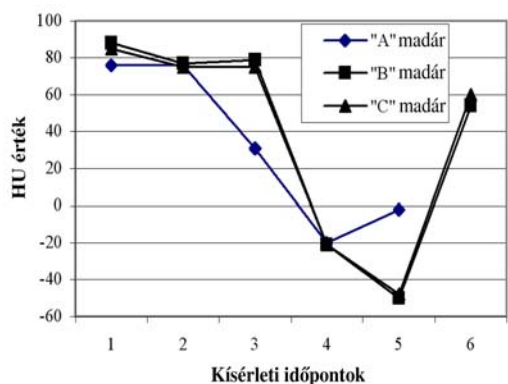


**48. ábra** A máj felszín és térfogat változása a tömés előtt, alatt és után

Az előkészítő szakasz végén (1), illetve a töméses hizlalás kezdetén (2) mért értékek hasonlóak. A 21 napos periódus végére (5) a májtérfogat a háromszorosára nőtt a kezdőértékhez képest. Ekkor a tömést abbahagytuk, a visszafogyasztás vizsgálata érdekében. Két héttel később a takarmánymegvonás következtében a „B” és „C” jelű madár májtérfogata és felszíne a kiindulási értéknek felelt meg. Hasonló, megközelítően négy hétig tartó regenerációs szakaszt írt le Prehm (1996) a töméses hizlalás befejezését követően. Az „A” jelű gúnár gyors, kezdeti májszövet beépülést követően (3) visszaesett, egy az egyedi

érzékenységre visszavezethető enteritis következtében. Az adott vizsgálati időpontokban a májakról készített 3D rekonstrukciókat az 47. ábra szemlélteti (4.1.3.2. fejezet).





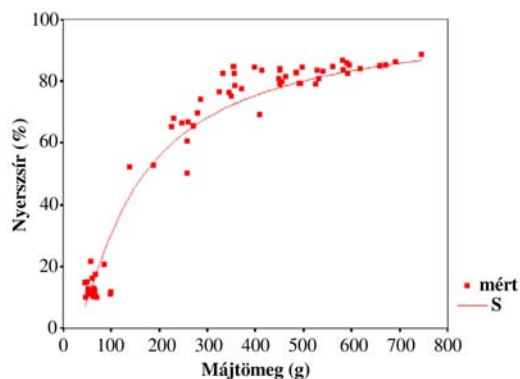
**49. ábra** A máj jellemző denzitásértékének változása

20 és -50 HU érték). Az utóbbi, a tömés végpontját jellemző érték közelít a tipikus zsírszövet denzitáshoz, jelezve a tömött máj igen magas zsírtartalmát. Bizonyos esetekben a zsírdepozíció, a májsejt állomány nagyfokú károsodása miatt irreverzibilissé válik, különösen akkor, ha a töméses hizlalás időtartamát három-négy nappal meghosszabbítják (SCAHAW, 1998). Hazai viszonyok között a feldolgozásra kerülő libamájak 6-10 %-a tekinthető érintettnek ilyen szempontból.

A második kísérleti szakaszban (70 gúnár) a vizsgálati időpontokhoz tartozó májtömeg és máj kémiai analízis adatokat a 19. táblázat tartalmazza.

**19. táblázat** A máj tömegének és összetételének változása a töméses hizlalás során

nap	n	Máj súly (g)		Száranyag (g)		Nyzsír (g/100g DM)		Nyfehérje (g/100g DM)	
		Átlag	SD	Átlag	SD	Átlag	SD	Átlag	SD
0	20	64	15	29	1,4	13	3.4	76	6.7
13	8	331	131	54	7.9	70	11	23	9.1
18	11	391	122	61	5	77	7.8	18	4
19	7	428	94	60	6	79	5.3	18	4.7
20	7	515	213	63	4.6	83	4.5	14	4.4
21	7	429	146	60	8.7	79	12	18	10
22	8	518	156	61	9.5	78	12	18	9.7

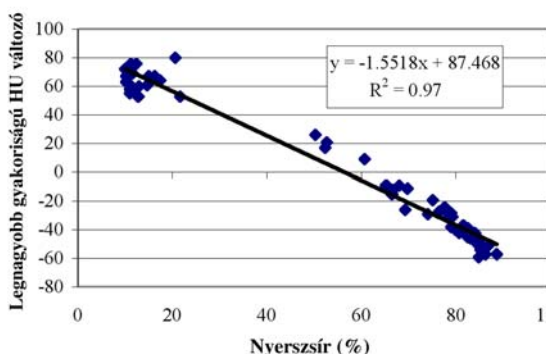


**50. ábra** A májtömeg és a nyerszsír tartalom összefüggése

A kvantitatív és morfológiai jellemzés mellett a májszövet kvalitatív leírása is lehetséges volt. Normális élettani állapotban a libamáj jellemző denzitás értéke 80 körül van. A kezelés (tömés) során a legnagyobb gyakorisággal előforduló HU értékben mért igen kifejezett változásokat a 49. ábra szemlélteti. Hasonlóan a térfogatos és geometriai változásokhoz, a denzitás értékek követték a töméses hizlalás folyamatát. Az előkészítés szakaszában (1-2), valamint az utolsó vizsgálati időpontban (6) a jellemző HU értékek közel azonosak (55-80 HU) voltak. A töméses hizlalás során (3, 4 és 5) a denzitásértékek gyorsan csökkenetek (80, -

A májtömeg és a kémiai meghatározott nyerszsírtartalom összefüggését különböző modellekkel próbáltuk leírni. A legszorosabb összefüggést ( $R^2=0.91$ ) az „S” görbe alkalmazása esetén érték el (50. ábra). Figyelemreméltó, hogy a 350 g-ot meghaladó májtömeg felett a zsírtartalom alig változott.

A máj zsírtartalmát első közelítésben a legnagyobb gyakoriságú HU változó értékkel jellemeztük, felhasználva a 49. ábrán bemutatott összefüggést. A 51. ábra szoros lineáris kapcsolatot mutat ( $R^2=0.97$ ) a legnagyobb gyakoriságú voxel denzitás érték és a nyerszsírtartalom között.



**51. ábra A legnagyobb gyakorisággal előforduló voxel denzitások és a zsírtartalom kapcsolata**

Gyakorlatilag azonos erősségű az összefüggés ( $R^2=0.96$ ) a HU változók és a nyersfehérje tartalom között. Amennyiben a legnagyobb gyakorisági érték helyett az átlagos HU denzitással számolunk a becslési pontosság mindkét kémiai összetevő esetében változatlan.

A korábbiakban ismertetett vizsgálatokban (nyúl, brojlercsirke, pulyka, hal) a becslőegyenletek általában az eredeti Hounsfield skála -200 és +200 közötti szakaszának denzitásértékeiből fejlesztett 40 változón alapultak. A lúdvizsgálatoknál ezt

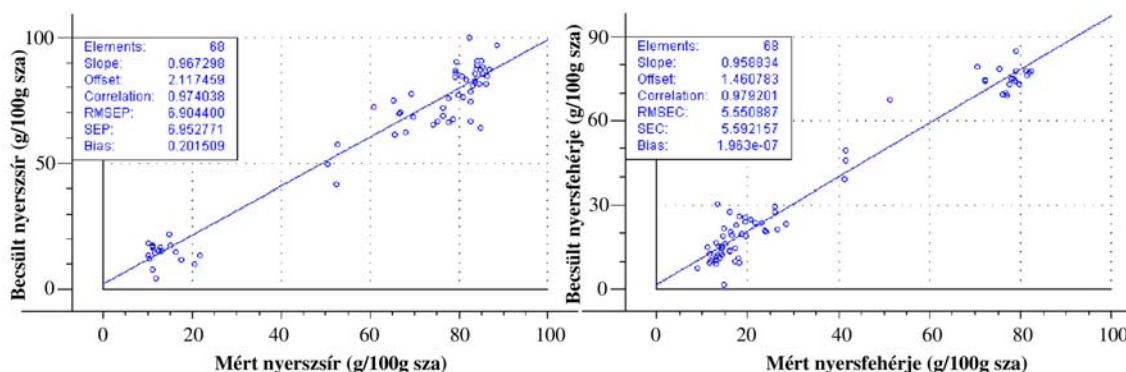
az intervallumot -80 és +100 közé szűkítettük, továbbá elmaradt a szomszédos értékek összevonása. A 4.1.1.2. fejezetben tárgyalt multikollinearitás problematikáját jelen vizsgálatban a legfejlettebbnek tekinthető PLS regresszióval csökkentettük. A 20. táblázat tartalmazza a számított főkomponenseket, a hozzájuk tartozó variancia értékekkel, külön a nyersfehérjére és külön a nyerszsírra.

**20. táblázat A latens változók által magyarázott kalibrációs és validációs variancia**

	Nyersfehérje		Nyerszsír	
	Kalibráció	Validáció	Kalibráció	Validáció
PC1	67.32	66.96	70.70	69.87
PC2	82.29	81.05	84.54	83.10
PC3	90.63	89.13	92.12	91.11
PC4	94.13	92.63	95.30	94.25
PC5	94.75	93.43	95.81	94.90
PC6	95.67	93.60	96.42	94.91
PC7	95.88	<b>94.14</b>	96.60	<b>95.07</b>
PC8	96.44	93.75	97.12	94.72
PC9	96.61	93.59	97.17	94.74
PC10	96.68	93.39	97.23	94.72

Általában minél közelebb van a kalibrációhoz tartozó variancia numerikus értéke a validációhoz tartozóhoz, annál megbízhatóbb a modellünk. A táblázatban jól látható módon, mindkét esetben (nyersfehérje és nyerszsír) a hetedik főkomponens felett (PC7) a validációs variancia értéke csökken, ami az ún. „zajszint” elérését mutatja.

Az 52. ábrán a mért és a becsült fehérje, illetve zsírtartalom közötti összefüggés látható. Az egyenletek a PLS regresszióval számított hét főkomponensből származnak az MGLH stepwise módszerével.



52. ábra A máj becsült és mért zsír-, illetve fehérje tartalma közötti összefüggés

A fenti egyenletek becslési pontosságának ellenőrzésekor a kalibráció standard hibája (SEC) 5.64, illetve 6.73 % a nyerszsír és a nyersfehérje esetében.

Saját képkalkulációs gyakorlatunkban a libamáj volt az első olyan vizsgálati minta, amelynél a legnagyobb gyakoriságú, illetve az átlagos HU változók használatán alapuló becslés hasonló pontosságú volt a kémiai összetétel meghatározásában. A tomográf felbontásának szintjén homogénnek tekinthető májszövet ideális a CT alapú analízishez, miután annak minden összetétel változása jelentős denzitásváltozással jár. A vizsgálataink során a gunarak között tapasztalt nagy variabilitás a jellemző HU értékben jó alapot nyújt a szelekcióra, amit megkönnyít az, hogy néhány CT felvétel már elegendő a hízott máj *in vivo* minősítéséhez.

A fentieket **összefoglalva** a kidolgozott *in vivo* módszertan alkalmas a májtérfogat és a májminőség egy lépésben történő jellemzésére a tömésre való előkészítés, illetve a töméses hizlalás során. A PLS regresszió alkalmazása a májszövet kémiai összetételének becslésére igen hatékonynak bizonyult. Szemben a 4.1.2.2. fejezetben leírtakkal a nyersfehérje tartalom becslés pontossága ( $R^2=0.96$ ) elérte a nyerszsírt ( $R^2=0.97$ ). A vizsgálatoknak nagy gyakorlati jelentőséget ad, hogy az állatvédelmi előírások szigorodása miatt a töméses hizlalás 2012 után várhatóan megszűnik. Ennek megfelelően alternatív májelőállító technológiák fejlesztése várható, melyek hatékonyságának elbírálására az ismertetett képkalkulációs vizsgálatok kitűnően használhatók.

## 4.2. Testösszetétel *in vivo* meghatározása MRI-vel

A következőkben néhány példán bemutatom az MRI lehetőségét a szöveti összetétel (izom-zsír) vizsgálatában, elsősorban módszertani jelleggel. A közölt példák CT vizsgálatokkal párhuzamosan végzett MR felvételezésekből származnak.

### 4.2.1. Húsnyúl

Kapcsolódva a 4.1.2.1.1. fejezetben leírt vizsgálatokhoz az MRI felvételezés célja a perirenális zsírnak, a teljestest zsírtartalmának, illetve a hátulsó rész tömegének meghatározása volt. Utóbbit az indokolta, hogy a szelekciós célú, a DRG tomográf használatán alapuló felvételezésnél a comb vizsgálati technikáját nem sikerült kidolgozni (Romvári, 1996d).

Vezinhet és Prud'hon (1975) nyulak zsírdepozíciójának mennyiségi eltéréseit vizsgálták különböző testtájakon. Ouhayoun (1983), valamint Brun és Ouhayoun (1988) rámutattak, hogy a vesekörüli zsír mennyiségének ismeretében a karkasz zsírtartalma jól becsülhető. Ugyanakkor a test energiamobilizációját is érzékenyen jelzik a zsírdepók (Masoero és mtsai, 1992). Az anyanyulak első vemhessége során a vesekörüli zsírmennyiség csökkenést írt le Xiccato (1996). Utóbbi megfigyelést számszerűsítettük és egészítettük ki a medencetájéki és a vállövi zsír vonatkozásában (4.1.1.1.1.). Niedzwiadek (1980) eredményei alapján a karkasz zsírtartalma, illetve a gerinc és a hátulsó rész zsírtartalma között 0.69, illetve 0.63-as a korreláció. Ugyancsak szignifikáns és pozitív összefüggést ( $r=0.59$ ) állapított meg Maertens és de Groote (1992) a zsírdepók mennyisége és az *intramuscularis* zsírtartalom között.

Az elsősorban metodikai célú MR felvételezésre négy genotípus (D, DxP, PxD, P) 87 egyedét használtuk. A vizsgálatok 12 és 16 hetes korban történtek. Az értékelés során a *coronalis* síkú felvételek bizonyultak a legalkalmasabbnak a három ortogonális síkban készítették közül. Ennek megfelelően a hátulsó rész teljes térfogata néhány felvétellel teljesen lefedhető volt, ami egyúttal az adatgyűjtés hibáját is csökkentette. Ugyanezen képekről történt a vesekörüli zsír, valamint a teljestest zsírtartalom meghatározása is. A négy vizsgált genotípus MRI felvételezésének, valamint próbavágásának eredményeit a 21. táblázat tartalmazza.

**21. táblázat** A teljes, illetve a vesekörüli zsírtartalom, valamint a hátulsó rész mennyisége genotípusonként

Csoport	n	Vesekörüli zsír, (g)	Vesekörüli zsír (MRI) (cm <sup>3</sup> )	Hátulsó rész, (g)	Hátulsó rész (MRI) (cm <sup>3</sup> )	Összes zsír, (g)	Összes zsír (MRI) (cm <sup>3</sup> )
D	átlag 15	38	58	531	451	286	380
	SD	20	35	81	65	109	212
DP	átlag 29	36	76	557	548	317	401
	SD	22	49	89	97	141	225
PD	átlag 11	32	61	589	560	290	385
	SD	22	39	98	78	125	190
P	átlag 32	34	60	558	528	261	320
	SD	19	44	94	90	111	162
Összes	átlag 87	35	65	557	528	288	365
	SD	20	43	91	93	123	197

Az MR felvételezés és a próbavágás eredményei közötti korreláció számítás eredményeit a 22. táblázat szemlélteti. A kapott „r” értékek 0.74 és 0.99 között változtak.

**22. táblázat A különböző módon meghatározott zsírtartalmak közötti korrelációs értékek, a négy genotípusban és összesítve**

Csoport	n	Vesekörüli zsír (g)	Összes zsír (g)	Vesekörüli zsír (MRI) (cm <sup>3</sup> )	Hátulsó rész [g]
		- MRI (cm <sup>3</sup> )	- MRI (cm <sup>3</sup> )	- összes zsír (MRI) (cm <sup>3</sup> )	- MRI (cm <sup>3</sup> )
D	15	0.96	0.94	0.99	0.87
DP	29	0.93	0.81	0.92	0.98
PD	11	0.96	0.80	0.86	0.96
P	32	0.97	0.74	0.93	0.94
Összes	87	0.95	0.77	0.91	0.94

A legszorosabb összefüggést ( $r=0.97$ ) az MRI-vel meghatározott vesekörüli zsírtérfogat és a próbavágáskor mért zsírtömeg között kaptuk a Pannon fehér nyulak csoportjában. A teljestest kémiai analízissel meghatározott nyerszsírtartalma és a zsírtérfogat közötti összefüggés  $0.74-0.94$  „ $r$ ” értékkel volt jellemezhető. A legerősebb kapcsolatot ( $r=0.94$ ) a D genotípusnál kaptuk. A korrelációs koefficiens értékek általában elmaradtak a 4.1.2.2.1. fejezetben ismertetett CT vizsgálati eredményektől, ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy lényegesen alacsonyabb mintaszámon, illetve közvetlen térfogatoss becslésen alapultak. A teljestest és vesekörüli zsír mennyisége között, az MRI vizsgálatot meghatározott korrelációs koefficiens értékek ( $r=0.86-0.99$ ) minden kísérleti csoportban igen magasak. Ezek az eredmények alátámasztják Ouhayoun (1978) megállapításait, miszerint a vesekörüli zsír mennyisége a teljestest zsírtartalom igen pontos indikátora. Ebben a vizsgálatban a hátulsó rész nem került darabolásra, ugyanakkor az MR felvételezéssel meghatározott izomtérfogat és a hátulsó rész tömege között  $r=0.87-0.98$  közötti korrelációt állapítottunk meg. Ebből a szempontból az MRI vizsgálatok előnyösebbnek tűntek, mint a DRG berendezésen végzett CT felvételezés a hátulsó combok izomtartalmának mérésére (Szendrő és mtsai, 1992 és Romvári, 1996d). A későbbiekben a spirál CT használata lehetővé tette a hátulsó végtag izomtartalmának sorozatfelvételeken alapuló becslését. Ez a módszer 2004 elejétől felváltotta a hosszú hátizom keresztmetszeti felszínén alapuló szelekciót a Pannon fehér nyulak vágóértékének növelésekor.

#### 4.2.2. Brojlercsirke

A mellizomzat mennyisége és testen belüli aránya kiemelt fontosságú mind a fogyasztó, mind pedig a feldolgozóipar szempontjából. Az MR képalkotást először Mitchell és mtsai (1991) alkalmazták brojlercsirke vizsgálatokban. Hasonló módszertannal mérték pézsmaréce és mulard kacsák mellizomzatát Wiederhold és mtsai, (1994, 1995). A zsírdepozíció növekedése egyre nagyobb probléma a brojlercsirke előállításban. A teljestest zsírtartalmán belül a kiemelten fontos abdominális zsír részarányát vizsgálták a tizedik élethétig Leeson és Summers (1980), idősebb korban pedig Sørensen és Decro (1995). Eredményeik egybeesnek Chambers (1990) megállapításaival, mely szerint a testtömeg növelésére irányuló szelekció a hasüri zsírdepozíció jelentős emelkedésével jár együtt. A genetikai tényezők mellett takarmányozási és környezeti hatások is szignifikáns hatást gyakorolnak a brojlertest elzsírosodására (Leenstra, 1986). Becker és mtsai (1979) szerint a hasüri zsírdepozíció nem invazív, *in vivo* mérésére alkalmas módszer igen hatékonyan segítené a szelekciót, illetve a takarmányozási kutatásokat. Ennek érdekében különböző mérőköri körökön alapuló eljárásokat dolgoztak ki, amelyekkel  $0.8$  körüli korrelációt tudtak elérni az abdominális zsír becslésénél (Pym és Thompson, 1980). Ugyanakkor tény, hogy más szerzők ennél lényegesen gyengébb összefüggést értek el ezen a mérőeszközök különböző változatainak használatával (Moran, 1995).

A röviden ismertetésre kerülő brojlercsirke vizsgálatok kapcsolódnak a 4.1.2.1.2.-es fejezetben ismertetett CT vizsgálatokhoz. Elsődleges céljuk a mellizomzat, az abdominális

zsír és a teljestest-zsírtartalmának *in vivo* MRI vizsgálata volt. Összesen 72 egyedet vizsgáltunk 6, 7, 8, 10, 16 és 20 hetes korban. A teljestest- és az abdominális zsírtérfogat összefüggését ivaronként vizsgáltuk, tekintettel a zsírdepozíció intenzitásának jelentős különbségére (23. és 24. táblázat). A coronális síkú felvételezés eredményeképpen az „r” érték hímivarban 0.85, nőivarban pedig 0.95 volt. A két ivart egyben kezelve a vonatkozó érték 0.93-nak adódott.

**23. táblázat** Az MR felvételezés során mért térfogat értékek hímivarban

Életkor hét	<i>m. pectoralis</i> , (cm <sup>3</sup> )		Hasúri zsír, (cm <sup>3</sup> )		Teljestest zsír, (cm <sup>3</sup> )	
	Átlag	SD	Átlag	SD	Átlag	SD
6	259	4.8			129	36.5
7	347	23.7	18.9	6.0	271	59.9
8	455	29.3	33.9	12.2	317	48.9
10	492	40.8	32.2	16.5	385	68.2
16	876	41.7	85.8	41.0	767	213.0
20	1035	62.4	153.2	131.9	557	319.0

**24. táblázat** Az MR felvételezés során mért térfogat értékek nőivarban

Életkor hét	<i>m. pectoralis</i> , (cm <sup>3</sup> )		Hasúri zsír, (cm <sup>3</sup> )		Teljestest zsír, (cm <sup>3</sup> )	
	Átlag	SD	Átlag	SD	Átlag	SD
6	250	21.9			171	24.6
7	331	16.2	19.3	3.7	269	35.2
8	391	37.4	36.7	11.2	346	67.9
10	449	46.7	46.2	6.5	486	41.4
16	728	95.0	191.7	41.7	1126	218.9
20	875	77.2	267.0	133.4	1321	185.6

Az MR felvételezéssel meghatározott izom és zsírtérfogat értékek igen jól korrelálnak Sütő és mtsai (1988) által közölt próbavágás, illetve a kémiai analízis eredményeivel.

**Összefoglalva**, a bemutatott modell szintű vizsgálatok alapján a *coronalis* síkú felvételek alkalmasnak bizonyultak brojlercsirkénél a *pectoralis* izomok és az abdominális zsírdepó, illetve nyúlnál a vesekörüli zsír, valamint a hátulsó rész térfogatának mérésére. A CT és MRI vizsgálati módszer - a szöveti összetétel mérés szempontjából történő - összehasonlítása közel azonos becslési pontosságot mutat. Ezt bizonyítják a sertés karkasz összetételét célzó vizsgálatok, 4.3.1. fejezetben bemutatásra kerülő eredményei is. Megvalósítási szempontból az MRI ilyen célú felhasználása két szempontból is kérdéses. Egyrészt a vizsgálati költségek a CT felvételezéshez képest igen magasak, másrészt a berendezések elérhetősége is korlátozott. Az MR képalkotás ugyanakkor egyedüli lehetőségeket kínál funkcionális vizsgálatairól. Ezek egy igen perspektivikus területét, a szívteljesítmény *in vivo* jellemzését a 4.4.-es fejezet érinti.

### 4.3. Sertés karkaszok vizsgálata referencia módszer kidolgozására

Az Európai Unió szabályozása szerint minden, a színhústartalom meghatározására szolgáló karkasz minősítő készüléket kalibrálni kell, legalább 120 sertés féltesten. A ma hivatalosan elfogadott ún. „EU referencia módszer” (Council Regulation No. 3220/84) a bal karkasz standardizált darabolásán, majd a fő részek (lábak, gerinc, váll, has) szöveti összetételének meghatározásán alapul. Az EU szerinti színhústartalom kiszámítása során a fő részekből származó hús, továbbá a vesepecsenye súlyát a féltest százalékában adják meg, majd szorozzák 1.3-mal. A módszernek számos hátránya van: igen költséges, nagy az időigénye és a megfelelő pontosságú munkához különösen képzett henteseket igényel. Ezen problémák ismeretében az EU 5. Keretprogram által finanszírozott „EUPIGCLASS” projekt részeként került sor vizsgálatainkra. Ezek célja objektív, a próbavágást kiváltó referenciamódszer létrehozása volt CT, MRI és VIA módszerek fejlesztésére alapozva. A következőkben először a CT-vel végzett vizsgálatok eredményeit foglalom össze, majd a 4.3.2. fejezetben rövid ismertetést adok az MRI mérésekről.

Sehested és Vangen (1988) voltak az elsők, akik az *in vivo* vizsgálatok mellett sertés karkaszok színhústartalmának mérésére is felhasználták a CT technikát. Vizsgálataik kezdetén anatómiailag meghatározott pontokon készültek a felvételek. A képfeldolgozás során a zsír- és izom denzitás tartományban lévő pixel gyakorisági értékek összevonásával (szomszédos 2-10) a változók számát csökkentették. Ezt követően lineáris regressziós modelleket fejlesztettek a testösszetétel becslésére. Általában igaz, hogyha ezeket az egyenleteket független állományon tesztelték, a BIAS számottevően megnőtt a változók nagy kollinearitása miatt (Szabó és mtsai, 1999). Ennek ellensúlyozására többen faktor analízist alkalmaztak, hasonlóan saját nyúlón, brojlercsirkén és halon végzett vizsgálatainkhoz (4.1.2.2.). Alapvetően más típusú közelítést választott Thomson és Kinghorn (1992), akik anatómiai pontok helyett egymástól 30-50 mm-re felvett sorozatfelvételeket készítettek. Később a spirál CT-k megjelenésével ez a közvetlen térfogatos meghatározáson alapuló módszer terjedt el (Horn és mtsai, 1997). Általában három szöveti összetevőt definiáltak (csont, izom és zsír) és a vonatkozó térfogatokot az ún. Cavalieri módszerrel becsülték (egy adott összetevő térfogata = szelet metszési felszíne x szomszédos szeletek távolsága) (Roberts és mtsai, 1993). Alapesetben a szöveti eloszlás vizsgálatokor minden pixelt külön-külön klasszifikálnak. Könnyen belátható, hogy a zsír/izom denzitás tartományban kevés azon pixelek száma, amelyek homogén szöveti összetételűek, nagy számban vannak ugyanakkor úgynevezett kevert pixelek (Choi és mtsai, 1991). Az ezek klasszifikálására használható eljárásokat Glasbey és Robinson (2002) értékelte.

#### 4.3.1. CT vizsgálat

Összesen 60 bal- és 120 jobb oldali karkasz CT vizsgálatát végeztük el. Először a kalibráció menetét ismertetem, amely azon a 60 bal oldali karkaszon történtek, melyeket a CT felvételezést követően daraboltak. A minták színhústartalmának meghatározását négy különböző módszerrel végeztük, bemutatva a képfeldolgozás lehetséges alternatíváit. Végül a legjobbnak bizonyult közelítéssel becsültük az európai sertéspopuláció szempontjából reprezentatív mintát képviselő karkaszok színhústartalmát.

##### 4.3.1.1. Kalibráció

###### 4.3.1.1.1. Anatómiai pontokon készített felvételek

A színhústartalom meghatározásnak általunk használt módszere öt különböző anatómiai ponton készült felvételen alapul, hasonlóan Vangen (1992) és Kövér (1993) vizsgálatához. Az

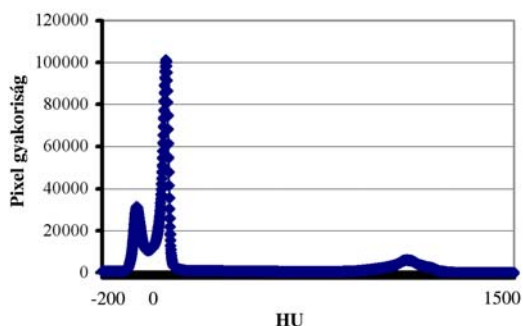
öt anatómiai pontot (a 4. és 5., illetve az 5. és 6. hátsigolya között, a 3. és 4. *caudalis* borda között, valamint a 3. és 4., illetve az 5. és 6. ágyéki csigolya között) utólag választottuk ki a teljes karkaszt lefedő sorozatfelvételek közül. Az adott CT képeken meghatároztuk a teljes izom- és zsírfelszínt, a hátszalonna vastagságát és a hosszú hátizom felszínét. Ezen kívül mértük a testhosszt az első borda és a fancsont között.

Az összesen felvett 23 változó alapján az MGLH stepwise módszerével meghatározott színhússzázalék  $R^2$  értéke 0.932-volt (Standard error of calibration (SEC)=1,35%). A színhústartalom mennyiségének becslésekor közel azonos pontosságot értünk el ( $R^2=0.937$ ; SEC=740 g). Az igen jó minőségű felvételek lehetővé tették az anatómiai képletek megbízható azonosítását. Mindemellett az időigényes képfeldolgozás kézzel történő szegmentáláson alapult. A módszer pontossága a színhústartalom becslésében meghaladta a legmodernebb európai vágóhidakon üzemelő AUTOFOM rendszerét ( $R^2=0.85$ , Standard error of prediction (SEP)=1.6 %) (Brondum és mtsai, 1998).

#### 4.3.1.1.2. Közvetlen térfogatos módszer

Horn és mtsai (1997) eredményei szerint a sorozatfelvételeken alapuló módszer igen hatékonynak bizonyult élő sertések vágóértékének becslésében. Amíg *in vivo* vizsgálatoknál a képfeldolgozás során elkerülhetetlen a belső szervek kiemelése az értékelésből, addig a féltesteknél a folyamat teljesen automatizálható. A standardnak tekinthető izom denzitás tartományt (HU 20-200) alapul véve, a referenciaként meghatározott színhússzázalék (színhús (kg)x100/fél karkasz tömege) és a CT hús % (izom voxelek/összes voxel) közötti összefüggés  $R^2$  értéke 0.92 (SEC=1.44 %). A továbbiakban a küszöbértékek változtatásával a korrelációs érték szignifikáns növekedését értük el. A legmagasabb  $R^2$  érték (0.93, SEC=1.33 %) a HU 0–110 intervallum használatán alapult. Az így elérhető becslési pontosság tökéletesen elegendő szelekciós célú vizsgálatoknál.

Az 53. ábra egy átlagos karkasz pixel denzitás gyakoriság eloszlását mutatja a Hounsfield skálán. Konvencionálisan a -200 és -20 közötti tartomány a zsírszövet, a +20 és +200 közötti pedig az izomszövet denzitásának felel meg. A harmadik, legalacsonyabb csúcs a csontszövet elnyelési tartománya. A csúcsok alatti terület megfelel az adott szövet térfogatának.



53. ábra Egy átlagos karkasz denzitás hisztogramja

Általában a keresztmetszeti képalkotáson alapuló, a szöveti összetétel meghatározását célzó kalibrációs vizsgálatok két független adatállományt feltételeznek, melyek közül az egyik a képfeldolgozásból, a másik pedig a próbavágásból (darabolásból) ered. A sertés esetében ez utóbbi az egyszerűsített EU referencia módszer. Ehhez képest saját vizsgálataink körülményei lényegesen kedvezőbbnek tekinthetők, miután azok a sokkal részletesebb és egyúttal pontosabb ún. „Kulmbach”-i típusú daraboláson alapultak (Scheper és Scholz, 1985). Ennek megfelelően lehetőségünk volt az izomszövetre jellemző denzitás tartomány

pontosabb definiálására. A 25. táblázat összegzi az elnyelődési tartomány változtatásán alapuló térfogatos becslés eredményeit.



**25. táblázat A különböző módon számított izomértégek és a színhústartalom összefüggése**

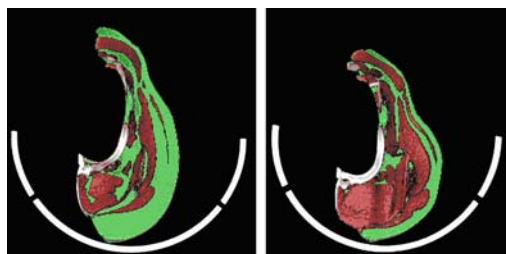
HU intervallum	20 - 200	20 - 110	10 - 110	5 - 110	0 - 110	0 - 200
„r”-érték	0.97809	0.98084	0.98598	0.98722	0.98790	0.98499

Jól érzékelhető az a tendencia, miszerint az izom tartomány felső határának lefelé (a víz denzitása felé irányuló) mozgásával az „r” értékek kissé javulnak. Hasonló változást eredményezett az alsó HU határ lefelé mozgása, egészen addig, amíg az elérte a nulla denzitás értéket. A feldolgozás eredménye szerint a színhústömeg és az izomtér fogat közötti legszorosabb korrelációs érték ( $R^2=0.976$ ,  $SEC=432$  g) a HU 0-110-es tartomány esetén érhető el. Ezt a közelítést a Thompson és Kinghorn (1992) által kidolgozott módszer fejlesztett változatának tekinthetjük. Hangsúlyozni érdemes, hogy az alkalmazott spirál CT módszer egymást átfedő felvételek feldolgozásán alapul és így közvetlen térfogat adatokat szolgáltat a vizsgált karkasz minták egészéről.

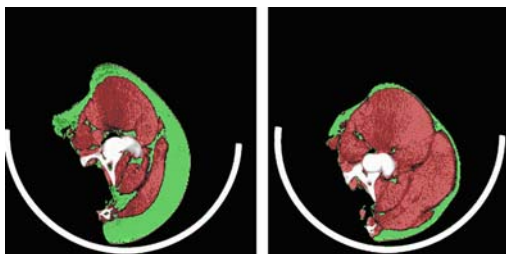
A féltetek CT vizsgálatakor első közelítésben színhústér fogat értéket kapunk, amely a húshoz rendelhető HU-értékeket mutató felületek összegének és a szeletvastagságnak a szorzataként számítható. Ez a térfogat 0.98-as korrelációt mutat a darabolás eredményként kapott színhús tömeggel. Ez az összefüggés azonban nem elegendően magas, ha tekintetbe vesszük, hogy két abszolút módszert hasonlítunk össze, és az összehasonlítás standard hibája  $\pm 432$  g, közel 2 %. Ez a hiba három alapvető okra vezethető vissza: úgymint a féltetek nem tökéletes előkészítése a felvételezés előtt, a darabolásnál fellépő veszteségek megléte, valamint a hús fajlagos sűrűségének inhomogenitása. Az első hibaforrásról tudunk, a másodikat praktikus elhanyagolhatjuk. A harmadik hibaforrás azonban csak addig létezik, amíg azt nem ismerjük fel. Figyelemmel ezen lehetséges hibaforrásokra a képfeldolgozás módszertanát megváltoztattuk.

**4.3.1.1.3. Test- és denzitás intervallumok alkalmazása**

Miután a vizsgálatok alapját képező minta extrém módon eltérő féltetekből tevődött össze (54., 55. ábra), feltételezhető volt, hogy azok pixel gyakorisági eloszlása is különböző.

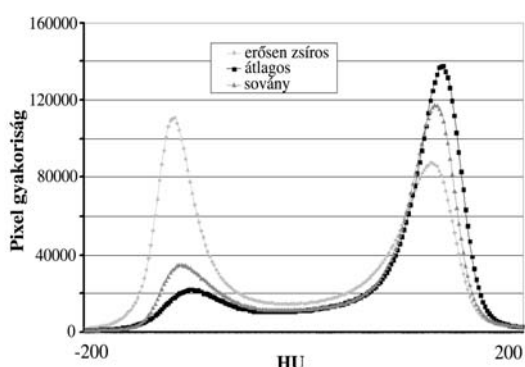


**54. ábra A lapockacsont végének síkjában készült felvételek**



**55. ábra A fangsont síkjában készült felvételek**

A keresztmetszeti felvételek igen jól szemléltetik a karkasz összetétel jelentős eltéréseit a két kiválasztott anatómiai ponton. Az 56. ábra extrém sovány, illetve zsíros karkaszok mellett átlagos féltestről származó gyakorisági eloszlást is szemléltet a zsír és az izom elnyelődési tartományban.



**56. ábra** Gyakorisági eloszlások a zsír-izom denzitás tartományban

A gyakorisági értékek feldolgozása során nem találtunk szignifikáns különiséget a zsírra jellemző csúcs legnagyobb gyakorisági értékében. Ugyanakkor az izom vonatkozó csúcsa - az *intramuscularis* zsírtartalom növekedésével - a nulla denzitás felé mozdult.

Ahhoz, hogy a CT által megadott izom térfogatból a hús súlyát megkapjuk, a megfelelő fajlagos sűrűség értékkel kell szorozni a térfogatot. Ez azonban minden féltestnél más és más tekintettel az eltérő zsírtartalomra. Első közelítésben

megpróbáltuk a húsról jellemző Hounsfield tartományt három szubintervallumra osztani, és ezekhez regresszió számítás segítségével megfelelő fajlagos sűrűségi értékeket (mint együtthatókat) hozzárendelni. Az alapgondolat az volt, hogy a zsírral dúsán átszótt húsfélék - mint például a tarja - a Hounsfield skála 0 értéke felé mozgó denzitásokat mutat, amíg a teljesen száraz karaj inkább a magasabb HU értékeket veszi fel.

Figyelemmel erre a karkasz összetételben és a voxel eloszlásban kimutatható variabilitásra denzitás szubintervallumokat (I1: 0-47 HU, I2: 48-59 HU, I3: 60-110 HU) és test tartományokat (Ra: az atlasztól a lapockacsont végéig, Rb: a lapockacsont és a fancsont között, Rc: a hátulsó lábak régiója a fancsonttól) képeztünk. Ennek megfelelően a hústérfogot 9 részből tevődött össze (RaI1-től RcI3-ig), ami egy kilenc változóból felépülő becslő egyenlettel írható le. Ezen túlmenően két, egyenként három változóból álló közelítést is kipróbáltunk, amikor egyrészt összevontuk a denzitás szubintervallumokat testtartományonként, másrészt megfordítva összevontunk testtartományokat denzitás szubintervallumonként. Ennek megfelelően a következő változókat nyertük: Ra(I1,I2,I3), Rb(I1,I2,I3), Rc(I1,I2,I3), (RaRbRc)I1, (RaRbRc)I2 és (RaRbRc)I3. A fenti változókat összegezve a teljes izomtérfogatot kapjuk meg. A 26. táblázatban a négy eltérő becslési módszer összehasonlítása szerepel.

**26. táblázat** A színhústartalom meghatározása a test- és denzitás intervallumok alapján

Modell	R <sup>2</sup>	RSD, g
Minden változó (9)	0.985	366
Denzitás intervallumok ((RaRbRc)I1, (RaRbRc)I2, (RaRbRc)I3)	0.983	369
Testtartományok (Ra(I1,I2,I3), Rb(I1,I2,I3), Rc(I1,I2,I3))	0.975	438
Teljes térfogat ( $\Sigma$ HU 0–110)	0.975	432

Az eredmények szerint a teljes karkasz felosztása három régióra nem emelte az R<sup>2</sup> értéket, növelte viszont a becslési hibát. Tény, hogy a kilenc változón alapuló formula valamivel nagyobb becslési pontosságot nyújt a három denzitás szubintervallumra épülőnél. Ennek oka az, hogy 60-as mintaszámhoz képest relatíve magas a felhasznált változók száma (9), így az elért eredmény valószínűleg erősen minta-specifikus. A fentiek alapján a legjobb kalibrációs eredménynek a három denzitás szubintervallumon alapuló tekinthető (R<sup>2</sup>=0.983, SEC=369 g).

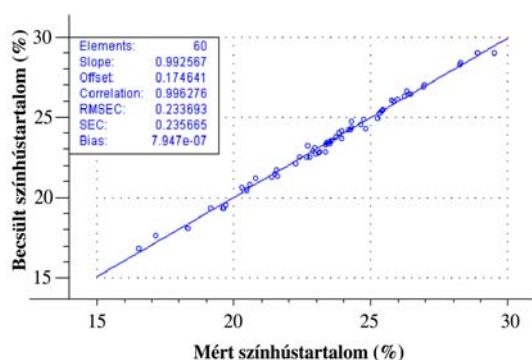
A továbbiakban megkíséreltük ezen intervallumok optimalizálását, a határértékek szisztematikus változtatásával, anélkül, hogy érdemi előrelépést tudtunk volna elérni.

Ekkor tűnt fel, hogy a Hounsfield értékek gyakorisági eloszlása erős hasonlóságot mutat egy spektrális eloszlással. Miután a spektrumokból történő információnyerés egyik legmodernebb matematikai módszere a PLS-regresszió analízis, az eljárást saját adatbázisunkon is kipróbáltuk.

#### 4.3.1.1.4. PLS regresszió használata

Az előző három pontban bemutatott eljárások adaptálásának két nehézsége van a sertés karkaszok minősítésében. Az első probléma az, hogy a CT berendezés térfogatos adatot szolgáltat, ugyanakkor a minősítés a színhústartalom súlyszázalékán alapul. A második gond, hogy az izomszövet denzitás tartománya nem egzakt, köszönhetően az eltérő mértékű *intramuscularis* zsír beszűrődésnek (56. ábra). Ennek alapján különböző fajlagos sűrűség értékek használata indokolt az eltérő HU értékekhez. A feladat megoldásában a PLS módszer igen hatékonynak bizonyult.

Egzakt kalibrációt csak a bal oldali 60 karkaszon tudtunk végezni (57. ábra). A jobb oldali féltestek információt szolgáltattak a sertés karkaszok szimmetriájáról, modellünk megbízhatóságáról.



57. ábra A mért és a becsült hústartalom összefüggése

A kapott kalibrációs eredmények ( $r=0.996$ ,  $SEC=232$  g) kitűnőnek tekinthetők, amennyiben a hiba a színhústömeg 1 %-ával egyenlő. A Kulmbach-i Intézet évtizedes tapasztalatai alapján ez az érték megegyezik a részletes darabolás hibájával (Scheper és Scholtz, 1985). A formula becslési teljesítményét a „full cross-validation” teszt eredménye mutatja, miszerint a függetlenül becsült eredmények korrelációja 0.995, a SEP pedig 270 g. A teljes variancia több, mint 99 %-át lefedő, hat főkomponensen alapuló módszer előnye, hogy minden a Hounsfield skála egy adott értékéhez tartozó voxel mennyiséghez saját koefficiens értéket

rendel. Ennek megfelelően minden röntgensugár elnyelési értékhez egyedi fajlagos sűrűség érték tartozik.

Továbbiakban sikerült az izomszövetnek megfelelő Hounsfield intervallumot megadni a sertés féltestek vonatkozásában. Ezt a korábbiakban megállapított tartomány mindkét határértékének folyamatos csökkentésével -19 és +99 HU-nál értük el. Hasonló módon megkerestük a zsírszövetre leginkább jellemző tartományt (-26 és -114)) is. A két számunkra fontos szöveti összetevő denzitás intervalluma között tehát nincs átfedés, ugyanakkor közöttük egy keskeny rés figyelhető meg.

#### 4.3.1.2. A színhústartalom becslése

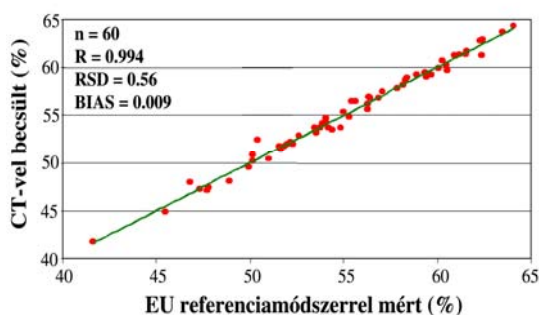
Először a PLS regresszióval a 60 CT-n vizsgált és darabolt bal oldali karkaszon kidolgozott modellel becsültük a 120 féltest színhústömegét, a jobb félről készült felvételek alapján. Ebben az esetben figyelembe kell venni a lehetséges anatómiai aszimmetriát, illetve a két féltest közötti darabolásbeli eltéréseket. Ezek alapján az  $R^2=0.976$  és a 455 g-os SEP érték

megfelelőnek tekinthető. Amennyiben a bal oldali karkaszokon fejlesztett modellt ugyanazon féltestek jobb oldalának színhústömeg becslésére használjuk, az előzőknél jobb eredményt kapunk ( $R^2=0.982$  és  $SEP=419$  g).

Ha a jobb oldali CT felvételekből, illetve a bal oldali darabolási adatokból épül fel a modell magasabb a standard hiba és gyengébb a korreláció, mint a tisztán bal oldali becslésnél. Ez azt jelenti, hogy az aszimmetriának szignifikáns hatása van, ami nem hagyható figyelmen kívül ( $R^2=0.980$  és  $RMSEC=\pm 427$  g). Ez a hiba ugyanakkor együttesen tartalmazza a darabolás és a felvételezés, valamint a két testfél eltéréseinek hibáját. Ahhoz, hogy ez utóbbit számszerűsítsük, a többi típusú hibát ebből ki kell vonni. Korábban a kalibráció során a „full cross-validation” teszt eredményeképpen meghatározott 270 g-os becslési hiba (RMSEP) a darabolás és a felvételezés hibájának tekinthető. A fentiek alapján a hiba összegzési törvény felhasználásával a testfél eltérések hibája a következő:

$$S_{side} = \sqrt{S_{total}^2 - S_{left}^2} = \sqrt{427^2 - 270^2} = \pm 331 \text{ g}$$

Ennek megfelelően szélső esetben 1 kg-ot is meghaladhatja a színhústartalom különbség két karkaszfél között. Hangsúlyozni kell, hogy egy egész biológiai egységet mindig könnyebb mérni, mint annak egy önkényesen kiemelt részét. Ugyanez a probléma jelentkezik a mostani EU referencia módszerrel, amennyiben az egész helyett ez is féltesten alapul. Mindenesetre indokolt lenne mindkét féltest egyidőben történő CT felvételezése, amely minden bizonnyal pontosabb becslést eredményezne.



**58. ábra** A CT által becsült és az EU referencia módszer szerint meghatározott színhússzázalék közötti összefüggés.

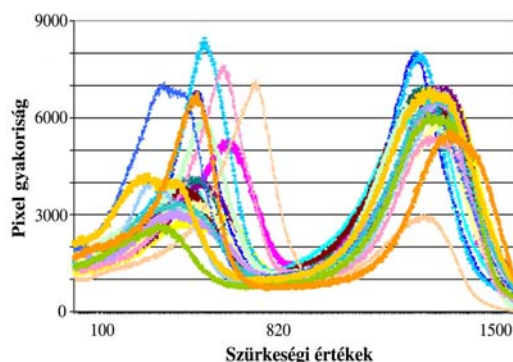
Amennyiben a színhústartalom helyett áttérünk a színhússzázalék becslésére, a hiba továbbra is 1 % körüli (58. ábra).

#### 4.3.2. MRI vizsgálat

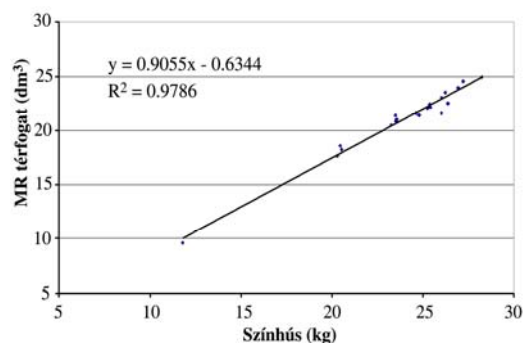
Az előző alfejezetben részletezett CT vizsgálatokkal párhuzamosan MR felvételezésre is sor került. A nemzetközi együttműködésben végzett MRI mérések értékelését a programban közreműködő francia fél, a CEMAGREF végezte. Saját, módszertani jellegű vizsgálatainkban a CT-n vizsgált jobb karkaszok 1/6-ának, azaz hús féltest képfeldolgozását végeztük el. Az

alkalmazott módszer hasonló elvű, mint a 4.3.1.1.2.-es fejezetben ismertetett közvetlen volumetriás eljárás.

A 59. ábra az MR felvételek képpontjaihoz tartozó szürkeségi-skálaértékek gyakorisági eloszlását mutatja, a random módon kiválasztott mintán. Az izom- és zsírszövetet elválasztó határvonal szisztemetikus változtatásával végül a 820-1500 közötti szürkeségi-skálaértékű pixeleket definiáltuk izomszövetnek. Az ennek alapján összegzett pixeleszámot a vizsgált karkaszok össz pixelszámához viszonyítva megkaptuk az ún. MR színhús %-ot. Ennek és a darabolás során meghatározott színhús tartalomnak összefüggését  $R^2=0.96$ -os érték jellemzi. Ezt követően az összes pixelszámból térfogatot képeztünk és azt korreláltattuk a darabolás során meghatározott színhús tömeggel (60. ábra). A determinációs koefficiens értéke ( $R^2=0.978$ ) megegyezik a 26. táblázatban közölt CT vizsgálati eredménnyel.



**59. ábra** A szürkeségi értékek gyakorisági eloszlása



**60. ábra** A MR alapján becsült izomtérfogat és a próbavágás során meghatározott színhús tömeg összefüggése

Annak hangsúlyozásával, hogy az összehasonlítás kis mintaszámon történt, a CT és az MRI becslési pontossága azonosnak tekinthető. Ezt bizonyítja a két képalkotó eljárással becsült izomtérfogat között fennálló igen szoros összefüggés ( $R^2=0.98$ ).

Az EUPIGCLASS programon belül az együttműködő francia CEMAGREF intézetben történt az MR felvételek feldolgozása. A projektet záró dániai munkaértekezleten Collewet és mtsai (2003) beszámoltak az előzetes eredményekről. Dobrowolski és mtsai (2003) ugyanott ismertették a teljes MRI képanyag feldolgozását követően a PLS regresszió módszerével kapott eredményeket, melyek szerint a CT és az MRI módszer becslési pontossága 0.05 %-os szinten azonosnak tekinthető.

**Összefoglalva** megállapítható, hogy a vizsgálatok egyszerűbb kivitelezhetősége és lényegesen kisebb költsége egyértelműen a CT használatát preferálja. A bemutatott eredmények szerint a módszer alkalmas arra, hogy helyettesítse a jelenleg alkalmazott referencia módszert a sertés karkaszok színhústartalmának meghatározásában. A bemutatott eredmények alapján a színhústartalom becslés igen robusztusnak tűnik, ugyanakkor szignifikáns hatást gyakorol az eredményre az, hogy melyik oldali féltesten alapul. A módszer hibája nem nagyobb az eddig referenciának használt kulmbachi típusú darabolásnál, ugyanakkor könnyen standardizálható. További kísérletek szükségesek a módszer megbízhatóságának vizsgálatára különböző genotípusok, illetve eltérő CT berendezések esetében. Az azonban az eddigi eredmények alapján is kijelenthető, hogy a nemzetközileg standardizált sertés karkasz minősítésben hosszú távon a CT képalkotáson alapuló eljárásnak meghatározó szerepe lesz.

#### 4.4. Szívteljesítmény mérése MRI-vel

A húshasznú állatoknál a vágóérték javítására irányuló szelekció eredményeképpen jelentősen nőtt a test színhústartalma. Ez a folyamat különösen a sertés és a pulyka esetében volt eredményes. Az utóbbi években ugyanakkor egyre több jel mutat arra, hogy ez az egyoldalú – a vázizomzat növelését eredményező - változás erősen terheli a szervezet más szervrendszereit. Különösen a légző- és a keringési rendszer érintett. A keringési rendszer vizsgálatának egyik lehetséges módja a szívteljesítmény *in vivo* mérése, aminek módszertani alapjait a magyar merino juh, illetve gigant pulyka példáján mutatom be. A magyar merinót, mint a hústermelésre irányuló szelekció szempontjából kevésbé érintett genotípust választottam. A fejezet második felében (4.4.3.) a szívteljesítmény és a vázizomtérfogató összefüggéseit elemzem a két állatfajon. A módszer gyakorlati felhasználását az intenzív hússertés példáján a (4.5.) fejezetben mutatom be.

Az alkalmazott dinamikus szív MRI vizsgálatok módszertanának alapjait sertésen dolgoztuk ki (Petrási és mtsai, 2001). Tizenöt 22 és 106 kg közötti egyed vizsgálata során kialakítottuk az állatok előkészítésének, altatásának, az EKG-jel elvezetésnek és az MR képalkotásnak részleteit, valamint a képfeldolgozás módszertanát. A sertés kiválasztását az indokolta, hogy keringési rendszerének az emberéhez való hasonlósága megkönnyítette a humán orvoslásban használt MRI vizsgálati szekvenciák adaptálását.

A sertés faj *cardiovascularis* rendszerének gyenge terhelhetősége, alacsony relatív szívtömegére (0.27-0.32 %), a szívizom kedvezőtlen vérellátására és a magas szisztolés diasztolés arányra vezethető vissza (Spörri, 1954; Fehér, 1980). A sertésszív növekedése nem tartott lépést a testtömeg emelkedésével, emiatt szélsőséges körülmények között nem képes a szervezetet megfelelő vérmennyiséggel ellátni, így az életkorral csökken a keringési rendszer tűrőképessége (Geers és mtsai, 1990). Emiatt centrális, illetve perifériás vérkeringési elégtelenség léphet fel, amely akár elhulláshoz is vezethet (Parker és mtsai, 1987). E kedvezőtlen biológiai sajátosságokat csak súlyosbítja, hogy a jelenleg alkalmazott élénk vérmérsékletű, stresszérzékeny fajták és hibridek környezetükkel szemben igényesek, adaptációs képességük gyenge és a legkisebb környezeti ingerre is fokozott válaszreakcióval reagálnak (Kostov és Egbelo, 1996).

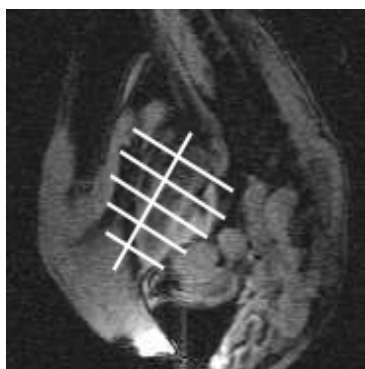
A megnövekedett vázizommennyiség és a kis szív kedvezőtlen kapcsolatának problémája nem csak a sertést érinti, a jelenség a baromfityenyésztésben sem ismeretlen. Brojlercsirkéken és pulyka hibrideken Havenstein és mtsai (1994), Shapiro és mtsai (1998), Martinez és mtsai (1998), Horn és Sütő (2000) megállapították, hogy a modern hibridek relatív szívtömege, ezzel összefüggésben a keringési rendszer teljesítménye csökkent a korábbi genotípusokéhoz képest. Horn és mtsai (2000) BUT Big 6-os hibriden és bronzpulykán végeztek vizsgálatokat. A BUT Big 6-os hibridek 6 hetes 0.57 (intenzív tartás) és 0.58 % (extenzív tartás) relatív szívtömege a 16. hétre 0.32 és 0.35 %-ra csökkent. Bronzpulykában a fenti értékek: 0.59 és 0.62 %, illetve 0.51, 0.52 % voltak. Martinez és mtsai (1998) és Neubert és mtsai (1999) is igazolták, hogy brojlercsirkék relatív szívtömege kisebb, mint tojótípusú tyúkoké. Shapiro és mtsai (1998) szerint a relatív szívtömeg érték csökkenése a brojlercsirkékben - a vázizombeépüléssel összefüggésben - a 2., míg pulykában a 3. élethétől következik be. Havenstein és mtsai (1994) egy 1957-ben és egy 1991-ben forgalmazott brojlercsirke hibrid vágási tulajdonságait hasonlították össze. Megállapításaik szerint, a 42 napos élőtömeg megnégyszereződése és a vágási hozatal jelentős javulása mellett a testtömeghez viszonyítva a szívtömeg 10, a tüdő 10-12 %-kal csökkent. Ezen felismerések, valamint a baromfiaknál is jelentős gazdasági kárt okozó szívbetegségek (Hunsaker, 1971; Roberson és mtsai, 2003) és hirtelen szívhalálból (sudden death syndrome) eredő kiesések indították el

azon szívfunkcionális vizsgálatokat, melyeket főleg brojlercsirkén (Wideman, 1999) és pulykán (Boulianne és mtsai, 1993) végeztek.

#### 4.4.1. Pulyka

A pulyka szívteljesítmény *in vivo* jellemzésére dinamikus MR képalkotó módszertant fejlesztettünk, nyolc hústípusú pulyka felhasználásával. Ezt követően 5-5 hím, illetve nőivarú BUT Big 6 genotípusú egyedeket vizsgáltunk ismételt 6, 12 és 20 hetes életkorban. A vizsgálatokat EKG triggerelt gradiens echo szív MRI akvizícióval végeztük, altatott állapotban. A megfelelő erősségű EKG-jel elvezetése érdekében az elektródákat a tollazott mell felszínére helyeztük, úgy hogy a jelkábelre erősített elektróda a *sternum caudalis* végére került, a másik kettő pedig a *clavicula* mellé. Az így előkészített madarak MR kompatibilis tartóban, hason fekvő helyzetben, kinyújtott combokkal kerültek vizsgálatra.

A vizsgálat első lépésében először gyors, kétsíkú (*parasagittalis*, *paratransversalis*) tájékozódási célú felvételek készültek a szív mágneses térben való pozíciójának megállapítására. Ennek célja ellenőrizni, hogy a szív az MR készülék izocenterében helyezkedik-e el. Ezt követően lokalizációs felvételeket készítettünk *parasagittalis*, *paracoronaris* és *paratransversalis* síkokban, azért, hogy meghatározzuk a koordinációs rendszertől eltérően helyeződő szív hossz tengelyét. Ez tette azután lehetővé a szív rövidtengelyében, a többfázisú szív MR felvételek elkészítését (61. ábra).

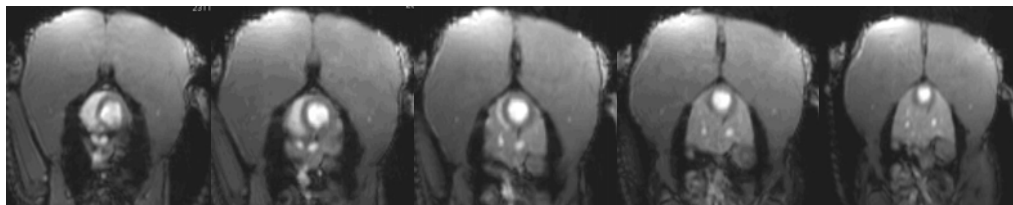


**61. ábra** *Parasagittalis* lokalizációs felvétel a szív hossz tengelyének és a dinamikus felvételek síkjának megjelölésével

Ezután, új szekvencia alkalmazásával a szív hossz tengelyére merőlegesen "multislice - multiphase" (sokszeletes-többfázisú) felvételek készültek a szívcsúcstól a bázisig, a szívüregeket lefedve, prospektív EKG triggerelt MRI akvizíció használata mellett.

A pulykaszív frekvenciájától és méretétől függően 5 sík és síkonként 5 fázis készült egy szív ciklus során. (62. ábra). Az alkalmazott szekvencia jellemzői a következők voltak: echo idő 6.8 ms, repetíciós idő 40.0 ms, kibillentési szög 30°, látómező 400 mm, mátrix méret 125×256 pixel, szelet vastagság 9 mm, szeletek

közötti távolság 0 mm. A teljes akvizíciós idő megközelítően 8-10 perc volt.



**62. ábra** A végdiasztolés fázisban készült dinamikus felvételek (a bázistól a szívcsúcs felé)

A dinamikus felvételek értékelése során mért, illetve számított jellemzőket a 27. táblázat tartalmazza.



**27. táblázat A pulykára jellemző balkamrai térfogat adatok**

Életkor (hét)	Hímivar			Nőivar			Hatás P=		
	12	16	20	12	16	20	ivar	kor	ivar x kor
<b>Testsúly (kg)</b>	8.1 ± 0.39	12.3 ± 0.5	16.4 ± 1.03	5.8 ± 0.29	8.1 ± 0.31	10.1 ± 0.58	0.000	0.000	0.000
<b>LVEDV (ml)</b>	8.02 ± 1.5	11.1 ± 4.02	15.8 ± 2.49	5.87 ± 0.87	7.16 ± 0.71	9.12 ± 1.55	0.001	0.001	0.190
<b>LVESV (ml)</b>	3.84 ± 1.28	4.49 ± 1.59	7.61 ± 1.54	2.98 ± 0.36	3.02 ± 0.44	3.96 ± 1.27	0.004	0.002	0.109
<b>LVSV (ml)</b>	4.18 ± 1.02	6.56 ± 2.54	8.17 ± 2.3	2.89 ± 0.86	4.14 ± 0.27	5.16 ± 0.85	0.010	0.010	0.643
<b>LVEF (%)</b>	52.3 ± 11.46	59.3 ± 4.06	51.4 ± 9.33	48.6 ± 8.08	58.1 ± 1.97	57.0 ± 7.97	0.172	0.859	0.555
<b>SI (ml/kg)</b>	0.52 ± 0.15	0.54 ± 0.20	0.50 ± 0.22	0.49 ± 0.13	0.51 ± 0.14	0.51 ± 0.11	0.828	0.943	0.968

LVEDV = balkamrai végdiasztolés térfogat, LVESV = balkamrai végszisztolés térfogat, LVSV = balkamrai verőtér fogat, LVEF = balkamrai ejekciós frakció, SI = verőtér fogat index

A vizsgált életkor tartományban a bakpulykák balkamrai térfogata mindig nagyobb volt. Tizenkettő és húszhetes életkor között vizsgálva a balkamrai végdiasztolés és végszisztolés térfogat a hímivarban kétszeresére, a nőivarban pedig 1.3-1.5-szörösére növekedett. Ennek megfelelően a verőtér fogat érték folyamatos, korfüggő emelkedést mutatott, amelynek mértéke a hímivarban valamivel nagyobb nak bizonyult. Brojler csirkéken végzett vizsgálatai során hasonló korfüggő változásokat írt le Wideman (1999). Az ejekciós frakció értékek az életkortól függetlenül 48 és 59 % között változtak, amely tartomány a normál fiziológiai határokon belül van. Az átlagosan 0.5 ml/kg-os verőtér fogat index érték más madárfajokkal összehasonlítva alacsony, amit alátámasztanak Grubb (1992) kacsán (1.6 ml/kg) és galambon (1.97 ml/kg) végzett mérései. A verőtér fogat index értékben mutatkozó különbség is igazolja Ringer (1957) korai megállapítását, miszerint a genetikai szelekció eredményeként ún. „ülő típusú, kevésbé aktív” (so-called sedentary) madár fejlődött ki.

Végül a szívfrekvencia és a verőtér fogat szorzatából meghatároztuk a perctér fogat értékeket (28. táblázat).

**28. táblázat A szívfrekvencia és a perctér fogat életkorfüggő változása**

Életkor (hét)	Hímivar			Nőivar			Hatás P=		
	12	16	20	12	16	20	ivar	kor	ivar x kor
<b>HR (b/min.)</b>	184 ± 2	175 ± 4.1	164 ± 5.5	201 ± 5	191 ± 2.5	181 ± 5.5	0.000	0.000	0.967
<b>CO (l/min.)</b>	0.76 ± 0.19	1.14 ± 0.42	1.33 ± 0.36	0.58 ± 0.16	0.79 ± 0.06	0.93 ± 0.18	0.025	0.028	0.774

HR = szívfrekvencia, CO = perctér fogat

A szívfrekvencia értékek az életkor emelkedésével párhuzamosan, mindkét ivarban csökkentek, ugyanakkor a számított perctér fogatnál fordított tendencia érvényesült, köszönhetően a verőtér fogat szignifikáns növekedésének. Ugyanilyen jellegű változást írt le Wideman (1999) a fenti két paramétert brojlercsirkén vizsgálva. Eredményei alapján a testsúly növekedéssel párhuzamosan nőtt a perctér fogat, az egyidejű szívfrekvencia csökkenés mellett.



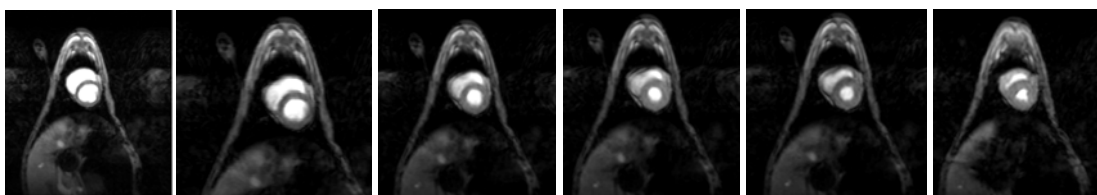
#### 4.4.2. Juh

A sertésen kidolgozott szív MRI vizsgálatok adaptálásával, a módszertan alkalmazhatóságát három 20 kg-os élőszűyű ( $60 \pm 4$  napos életkorú) hímivarú magyar merinó bárányon vizsgáltuk. A szívfrekvencia a felvételezés előtt és a teljes MRI vizsgálat alatt monitorozásra került. Ennek során a mért adatok a nyugalmi értékeket közelítették. A dinamikus szívvizsgálat módszertani lépései megfeleltek az előző alfejezetben leírtakkal. A juh szív hossztenegelyére merőlegesen felhelyezett síkokat ábrázolja a 63. ábra.



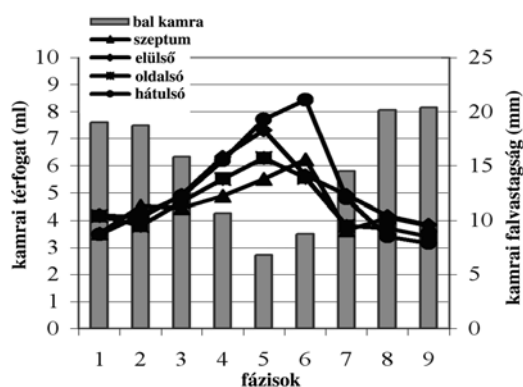
63. ábra Parasagittális lokalizációs felvétel a szív hossztenegelyének és a dinamikus felvételek síkjának megjelölésével

A teljes akvizíciós idő megközelítően 10-12 perc volt. Összesen 9 síkban, egyenként 10-10, a teljes szívterfogatot lefedő felvétel készült a szív ciklus során, amelyekből a kamrák területét hat fedte le. Az alkalmazott szekvencia jellemzői a következők voltak: echo idő 6.8 ms, repetíciós idő 60.0 ms, kibillentési szög  $30^\circ$ , látómező 400-500 mm, mátrix méret  $256 \times 256$  pixel, szelet vastagság 8 mm, szeletek közötti távolság 1.6 mm. A 64. ábrán hat dinamikus felvételt mutatok be a végdiasztóle és végszisztóle fázisa között.



64. ábra A pitvar-kamrai billentyű síkja alatt 9 mm-rel készült dinamikus felvételek a végdiasztóle és a végszisztóle között

A felvételek posztprocesszálása során a balkamrai *epi-* és *endocardiumot*, valamint a balkamrai *papillaris* izmokat definiáltuk. A balkamrai terfogot, illetve a négy eltérő helyen mért falvastagság értékek szív ciklus alatti változását a 65. ábra szemlélteti.



65. ábra A balkamrai terfogot és a falvastagsági értékek változása egy teljes szív ciklus során

Az első fázis az EKG görbe R hullámával van szinkronban és az izometriás kontrakció kezdetét jelzi, egybeesve a kamrai terfogot maximumával. A kamrai diasztóle befejeződésével (5.-6. fázis) megkezdődik az izometriás relaxáció. Módszertani szempontból nem szükséges a teljes szív ciklusról adatot gyűjteni, elegendő a végdiasztóle és a végszisztóle közötti szakaszt vizsgálni (Petrási, 2002).

A 29. táblázat a szív ciklus során meghatározott átlagos értékeket tartalmazza.

29. táblázat A vizsgált bárányok jellemző szívteljesítmény adatai

	LVEDV ml	LVESV ml	LVSV ml	LVEF %	LVMass g	HR b/min	CO L/min	Septum mm	Elülső mm	Oldalsó mm	Hátulsó mm
Átlag	43	11.2	31.8	73.1	63.5	89	2.75	13.6	11.7	11.7	14.2
SD	5,6	1,8	3,8	1.8	5.6	12	0.16	0.0	0.1	0.3	0.1

LVEDV = balkamrai végdiasztolés térfogat, LVESV = balkamrai végszisztolés térfogat, LVSV = balkamrai verőtér fogat, LVEF = balkamrai ejekciós frakció, LVMass = balkamrai tömeg, HR = szívfrekvencia, CO = perctér fogat

Az átlagos 73 %-os ejekciós frakció érték lényegesen meghaladja a mangalica (57 %, 30 kg-os testtömeg) és az intenzív hústípusú sertés (53 %, 30 kg-os testtömeg) adatait. A kisebb ejekciós frakció értéke a szív kedvezőtlen hemodinamikai jellemzőire utal. A mért falvastagság adatokból számított kontrakciós értékek (*septum*, elülső, oldalsó és hátulsó: 62, 69, 54 és 58 %) a *myocardium* állapotát jellemzik. *Cardiomyopathia*, vagy lokális keringési rendellenességek az izomrostok károsodásához vezetnek, csökkentve a kontrakciós értékeket. Az utóbbi, valamint a kamrai térfogatok változása állatorvosi szempontból nagy diagnosztikai jelentőségű. Az átlagosan mért szívfrekvencia, 89/min megfelelt a normál élettani állapotnak (Brown és mtsai, 1998).

#### 4.4.3. A szívteljesítmény és a vázizomtér fogat összefüggése

Az MRI vizsgálatokat követően mindkét állatfaj egyedénél CT felvételezéssel meghatároztuk a vázizomzat térfogatát, ami lehetővé tette a vázizomzat és a szívteljesítmény együttes vizsgálatát. A módszertani alapot azon sertésen végzett kísérleteink szolgáltatták, melyek testösszetétellel kapcsolatos eredményeit a 4.1.1.1.5. fejezet tartalmazza.

##### 4.4.3.1. Pulyka

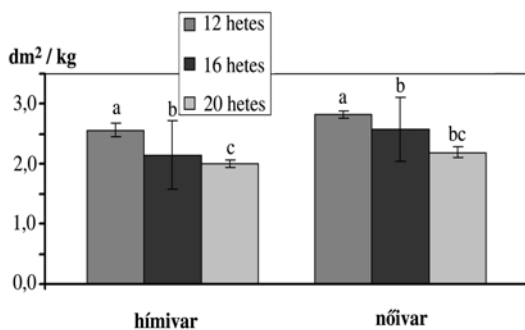
A 4.4.3. fejezetben ismertetett módszertannal BUT Big 6-os pulykák szív MRI vizsgálatára került sor 12, 16 és 20 hetes életkorban. A mért és számított térfogat értékeket a 26. táblázat tartalmazza. Ezzel párhuzamosan minden vizsgálati időpontban CT felvételezéssel meghatároztuk a vázizom térfogatot, a színhústartalmat és a testfelszín (30. táblázat).

30. táblázat A gigant pulyka testfelszín és testösszetétel korfüggő változása ivaronként

Kor (hét)	Hímivar			Nőivar			Hatás P=		
	12	16	20	12	16	20	ivar	kor	ivar x kor
súly (kg)	8.1 ± 0.39	12.3 ± 0.5	16.4 ± 1.03	5.8 ± 0.29	8.1 ± 0.31	10.1 ± 0.58	0.000	0.000	0.000
MV (dm <sup>3</sup> )	4.0 ± 0.39	6.6 ± 0.18	8.7 ± 0.85	2.8 ± 0.27	4.0 ± 0.30	5.0 ± 0.62	0.000	0.001	0.006
LM (%)	49.8 ± 2.4	54.1 ± 1.37	52.7 ± 1.89	47.7 ± 2.25	49.4 ± 2.41	49.3 ± 3.69	0.011	0.135	0.653
BS (dm <sup>2</sup> )	20.6 ± 1.2	26.3 ± 1.27	32.5 ± 1.45	16.4 ± 0.64	20.8 ± 2.81	22.2 ± 0.4	0.016	0.001	0.000

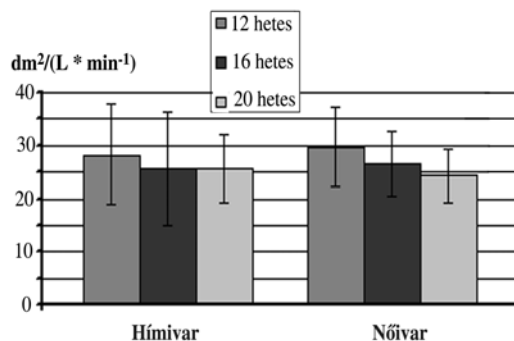
MV = izom térfogat, LM = színhús százalék, BS = testfelszín.

A táblázatban közölt testsúly és színhús százalék adatok megfelelnek a nagytestű pulykák normál technológiai értékeinek. Kiemelésre érdemes, hogy az összetett és viszonylag időigényes, ismételt képző vizsgálatok nem gyakoroltak negatív hatást a pulykák növekedésére és testösszetételére. A testsúly és a testfelszín együttes értékelésekor a hőleadó képesség szempontjából kedvezőtlen, statisztikailag igazolható tendenciát szemléltet a 66. ábra.



**66. ábra** Az egységnyi testsúlyra számított testfelszín érték alakulása pulykán

csökkenése a pulyka *pectoralis superficialis* izmában (Salomon és mtsai, 1990).

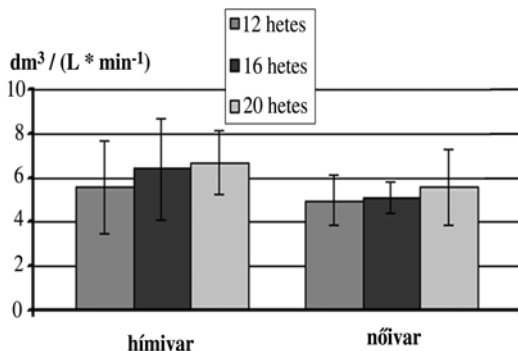


**67. ábra** Az egységnyi testfelszínre vonatkoztatott perctérfogat érték változása pulykán, az életkor függvényében

A madár életkorának előrehaladtával párhuzamosan az emelkedő hőtermeléssel szemben jelentős a relatív testfelszín csökkenés. Elméleti szempontból ez a kedvezőtlen változás társulva a tollazat hőszigetelő hatásával, erősen terheli a légző és a keringési rendszert, így a szívet is (Scheele, 1997). Másfelől, ha a bőr (testfelszín) vérellátása nő, úgy más szövetekben lokálisan relatív oxigénhiány alakulhat ki, amely a pulyka esetében elsősorban a mellizomzatot érinti (Mitchell, 1997). Ez utóbbi hatást erősíti az egységnyi szövetfelszínre jutó kapilláris szám korfüggő csökkenése, valamint a rost/kapilláris arány

A funkcionális MRI és a térfogat CT vizsgálatok együttes értékeléséből származó index érték alakulását szemlélteti a 67. ábra, az életkor függvényében. Tizenkettő és húsz hetes életkor között az értékek mindkét ivarban csökkentek (♂ 28.3 és 25.6  $\text{dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ , ♀ 29.6 és 24.4  $\text{dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ), a nagy szórásértékek miatt azonban statisztikailag nem bizonyítható a változás. Általánosságban az egységnyi testfelszínre jutó keringés mérséklődése alapvetően csökkenti a hőleadás képességét. Ez a hatás különösen azért súlyos, mert a folyamatos szelekció eredményeképpen a nagytestű pulykák hőtermelése jelentősen emelkedik.

A számított relatív perctérfogat értékek alakulását mutatja a 68. ábra. Statisztikailag itt sem bizonyítható módon, ugyanakkor konzekvensen, életkorfüggő emelkedés látszik.



**68. ábra** A relatív perctérfogat érték változása pulykán, az életkor függvényében

Hímivarban a számított relatív CO értékek rendre meghaladják a nőivar adatait 12 és 20 hetes életkor között. (♂ 5.57 és 6.73  $\text{dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ , illetve 4.98 és 5.6  $\text{dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ). Figyelemre méltó módon a relatív perctérfogat érték hasonló a gyorsnővekedésű intenzív hússertéséhez (6  $\text{dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ , 90 kg-os testsúly) (Petrási és mtsai, 2003). Az eredmények alapján az látszik, hogy a folyamatos szelekció következtében a vázizomzat beépülés a relatív perctérfogat növekedéséhez vezet, ami a keringési tartalékok csökkenéseként interpretálható az intenzív hústípusú pulykánál. A leírt jelenség hímivarban kifejezettebb. Hivatkozva Boulianne és mtsai (1992, 1993) által nagytestű pulykán elért

kifejezettebb. Hivatkozva Boulianne és mtsai

eredményekre, közepes fizikai terhelés hatására a keringési rendszer reagáló képessége erősen korlátozott. Az a körülmény továbbá, hogy a *cardiovascularis* rendszer nem képes megfelelő módon reagálni a növekvő anyagcsere igényekre azt sejteti, hogy az SDS (sudden death syndrome) patogenezisében a hemodinamikai rendellenességek központi szerepet játszanak. Nagytestű pulykákban ez a szindróma okozza az összes kiesések megközelítően egy negyedét. Olkowski és Classen (1998) brojlereken végzett vizsgálataik során a szívvel kapcsolatos elhullások 4.6 %-ban talált SDS eseteket, úgy, hogy ezek 74 %-a hímivarú egyed volt. Mindezek alapján úgy tűnik, hogy a relatív perctérfogat értékben mért, ivarfüggő különbség jelzi a hímivar nagyobb érzékenységét a *cardiovascularis* rendellenességek iránt.

Sporttudományi szempontból vizsgálva a terhelés során a legerősebb kölcsönhatás az oxigén ellátását biztosító *cardiorespiratoricus* rendszer és az oxigént igénylő vázizomzat között áll fenn (Richardson et al, 2000). A két rendszer terhelésre adott válasza olyan szoros kapcsolatban van egymással, hogy az effektor és az affektor meghatározása igen nehéz. Emmans and Kyriazakis (2000) modelljének megfelelően, egy szervezet élettani rendszereit a testen belül, mint meghatározott arányt képviselő részeket lehet megadni. Elfogadva ezt a koncepciót egy rész növekedésének egy másik rész csökkenését kell eredményeznie az egészen belül. A pulyka a legjobb példa egy kiemelt rész, a mellizom arányának növelésére irányuló szelekcióra. Úgy látszik ugyanakkor, hogy ez a rendkívül eredményes tenyésztő munka általában is növelte a vázizomzat arányát (Emmans, 1989). A folyamat alapvető hatással van a fiziológiai rendszerek egyensúlyára, melyek közül a keringési rendszer tűnik a leginkább sérülékenynek. Gyors növekedésre szelektált brojlercsirkénél a kardiorespiratórikus rendszer az, amely az izomrendszerhez képest lassabban fejlődött. Ugyanakkor előbbi adaptációs képessége a környezeti tényezők által okozott, az anyagcserét érintő változásokhoz korlátozott (Sanches és mtsai, 2000).

Mindezeket értékelve Emmans és Kyriazakis (2000) megítélése szerint az ilyen szelekciónak súlyos, „katasztrófális” következményei várhatók. Saját vizsgálati eredményeink ezt a prognózist látszanak alátámasztani. Elméletileg ugyanakkor lehetséges a gyors növekedésre és a hatékony keringési rendszerre együttesen szelektálni. Nem található irodalmi adat a pulyka- vagy a tyúkszív funkcionális tulajdonságainak örökölhetőségére. A Rance és mtsai (2002) által a brojlercsirkék szív súlyára megadott közepes örökölhetőség (0.30), valamint kedvező korrelációs kapcsolata a mell és az ürestest súlyával hatékony együttes szelekció lehetőségét veti fel.

#### 4.4.3.2. Juh

A bárányok MRI vizsgálatára közvetlenül a CT felvételezését követően, ugyanabban az altatásban került sor. Először a teljestest izomtérfogatót, majd a testfelszint határoztuk meg. A két képalkotó vizsgálat közös adatfeldolgozásának eredményeként megadtuk a testfelszínre vonatkoztatott perctérfogat értéket ( $\text{dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ), majd az ún. relatív perctérfogatot ( $\text{dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ), amely kifejezi a szívteljesítmény és a vázizomzat térfogatának összefüggését nyugalmi körülmények között (31. táblázat).

31. táblázat Juhok jellemző szívteljesítmény adatai

	Izom térfogat ( $\text{dm}^3$ )	Testfelszín (BS) ( $\text{dm}^2$ )	BS-re viszonyított CO $\text{dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	Relatív CO $\text{dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$
Átlag	6.4	50.3	18,3	2.3
SD	0.79	5.5	3.1	0.26

CO = perctérfogat (L/perc)

A számított perctérfogat érték (29. táblázat) a humán orvosi gyakorlatban a szívteljesítmény egyik fontos mutatója. Nyugalmi állapotban emberben ennek megközelítően 16 %-a szükséges a vázizomzat ellátására, (Withers, 1992). Meyns és mtsai (2000) vizsgálatai szerint a juh izom perfúziója  $6 \pm 3$  ml/g. Saját eredményeink alapján, figyelemmel az átlagosan  $6.4 \text{ dm}^2$  izomszövet térfogatra és a számított  $2.75 \text{ L/min}$  perctérfogat értékre, az altatott bárányok esetében a teljes perctérfogatnak mintegy 14%-a jut a vázizomzatra. A humán orvoslásban a testfelszínre vonatkoztatott perctérfogat értéket az anyagcsere intenzitás jellemzésére széleskörűen használják. A saját vizsgálatainkban mért  $18.3 \text{ dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$  jelentősen alacsonyabb, mint a BUT Big 6 vonatkozó értéke ( $25 \text{ dm}^2/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ), azonos testsúlyban összehasonlítva.

A számított relatív perctérfogat érték a juh szívteljesítményének és vázizom térfogatának kapcsolatát jellemzi. Ismeretes ugyanakkor, hogy a fizikai terhelés és/vagy a stressz indukálta erőteljes mozgások szignifikánsan befolyásolják a szervezeten belüli vérmennyiség megoszlását. Sertések esetében – nyugalmi állapotban – megközelítően a perctérfogat 20 %-a szükséges a vázizomzat ellátására. Armstrong és mtsai (1987) mini sertéseken végzett terheléssel (treadmill) vizsgálataik során megállapították, hogy a maximális  $\text{O}_2$  felhasználási szinten a perctérfogat több, mint 80 %-a szolgál a vázizomzat ellátására. Ez a koronária keringéssel együtt közel 90 %-a a teljes keringési teljesítménynek. Saját eredményeink szerint az *in vivo* vizsgálatok során meghatározott relatív perctérfogat érték alkalmas a különböző genotípusok terhelést követő válaszreakcióinak prognosztizálására. Hasonló célú terheléssel mérések a juhon nem ismertek. A véráramlás megoszlás változást Animut és Chandler (1996) vizsgálták anyajuhokon. Treadmill terhelésen alapuló kísérleteik során a tejmirigyek vérrellátásának 25 %-os csökkenését írták le. Újabban matematikai modelleket fejlesztenek különböző haemodinamikai állapotok leírására. Ehhez kapcsolódva Segers és mtsai (2001) a juh fajra fejlesztett algoritmussal becsülték a verőtérfogatot erősen eltérő hemodinamikai körülmények között.

A saját vizsgálataink során a magyar merinó bárányokon meghatározott átlagos relatív perctérfogat ( $2.3 \text{ dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ) igen közeli a lassú növekedésű hazai mangalica sertés adatához ( $2.8 \text{ dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ , 30 kg-os testsúlyban). Az igen kedvezőnek tekinthető alacsony érték a vizsgált félintenzív fajta jól kiegyensúlyozott *cardiovascularis* rendszerére utal. Az eredmények használhatósága szempontjából lényeges, hogy az altatott állapotban meghatározott szívteljesítmény paraméterek mennyiben jellemzik az egyedet. Nem ismert olyan kísérleti eredmény, amely a juh fajban vizsgálta volna az alvó és az ébren lévő állatok szív működésének eltérését. A humán modellként gyakran használt sertés fajban Cote és Haddad (1990) leírta, hogy az alvás és ébrenlét állapota nem befolyásolja a perctérfogat értékeket. Hivatkozott szerzők ugyanakkor lényeges változásokat állapítottak meg az izomzat véráramlás megoszlásában, amennyiben alvó állapotban a vázizomzat vérrel gyengébben ellátott. Az, hogy saját vizsgálatainkban az EKG görbe, továbbá a mért szívfrekvencia az altatás során az élettani alapértékeknek felelt meg, alátámasztotta a módszer alkalmazhatóságát.

---

**Összefoglalva** a fejezetben - az alkalmazott állattényéztési kutató szemszögéből - ismertetett eredményeket, megállapítható, hogy a kidolgozott *in vivo* MRI és CT vizsgálati módszer alkalmas a szívteljesítmény funkcionális vizsgálatára juhok és pulykák esetében. Céljában és módszertanában azonosnak tekinthető vizsgálataink során hasonló megállapításokat tettünk sertésekre vonatkozóan (Petrási és mtsai, 2002). Mindezek alapján a módszer beépíthető szelekciós célú programokba, amelyek első alkalmazását a 4.5-ös fejezetben részletezem.

#### 4.5. A keresztmetszeti képalkotó eljárások szelekciós célú alkalmazása sertésen

A bemutatásra kerülő kísérletek közül az első vizsgálatok a hasi rész zsír- és izomrétegeinek volumenére és eloszlására vonatkozó jellemzők meghatározását célozták lapály sertés populációban. Ennek eredményeit a 4.5.1. fejezet foglalja össze. Ezt követően kerül sor - részben a 4.4.4.-es fejezetben, részben pedig Petrási és mtsai (2002) által leírt módszertan felhasználásával - az optimális bacon jelleget és kiemelkedő szívteljesítményt mutató állomány kialakítását célzó szelekciós program eredményeinek bemutatására a 4.5.2., valamint a 4.5.3-as fejezetben.

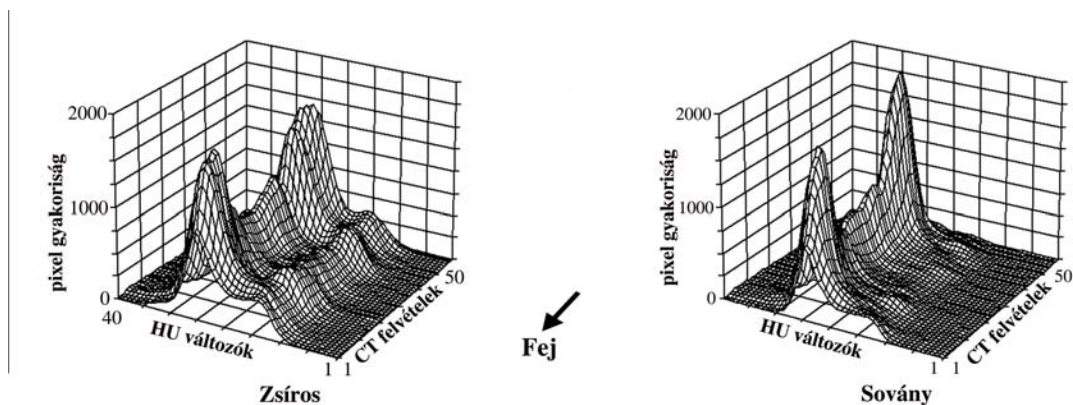
##### 4.5.1. A bacon rész szöveti összetétele

Az utolsó évtizedekben a folyamatos, erős szelekció következtében a sertés féltestek színhústartalma folyamatosan nőtt. Ezzel párhuzamosan a zsírtartalom szignifikánsan csökkent. Az utóbbi folyamatot nem elsősorban a fogyasztói igények indukálták, hanem sokkal inkább a sertés előállítás és feldolgozás ökonómiai szempontjai (Whittemore, 1998). Napjainkban a sertés piac két részre osztható. Az egyik alapanyagot állít elő a feldolgozó ipar számára, a másik - egyre növekvő fontosságú - ellátja a vásárlókat magas minőségi követelményeket kielégítő hússal és bacon szalonnával. Általában elmondható, hogy az *intramuscularis* zsírtartalom csökkenése rontja a húsmínőséget, ugyanakkor nehezíti a zsír és izomszövet (lean) elkülönítését is. Utóbbi szempontból a hasi rész ugynevezett szilárdsága alapvető hatást gyakorol a termék gazdasági értékére (Schinckel és mtsai 2002). Az a tény, hogy a hasi rész szerepe felértékelődik, objektív, a szöveti összetételt meghatározó módszerek kidolgozását igényli (Pfeiffer és mtsai 1993). Ennek érdekében többféle műszeres eljárást kipróbáltak, így a VIA (video image analysis) módszert (Schwerdtfeger és mtsai, 1993), a valós idejű UH eljárást (Liu és Stouffer, 1995), az MR képalkotást (Baulain és Henne, 1999), a TOBEC módszert (Swan és mtsai, 2001), és a DEXA eljárást (Marcoux és mtsai, 2003).

Saját kísérletünkben CT felvételezésre alapozva a hasi rész összetételében mutató variabilitást 130, 71-145 kg közötti lapály típusú sertés vizsgálatával írtuk le. Az állatok kiválasztása egy FAT-O méterrel előzetesen screenelt állományból, random módon történt. A minta átlagos színhústartalma 35-68 % között változott. A CT felvételezés után a sertéseket próbavágták és a színhústartalmat az egyszerűsített EU referencia módszer szerint (Council Regulation N.3220/84) határozták meg. Egy másik, különálló vizsgálatban tíz lapály típusú ártány hasi részének összetételét vizsgáltuk 70, 90 és 110 kg-os testsúlyban.

A CT vizsgálatok alapján meghatározott izom-arány és a próbavágás során mért színhústartalom közötti szoros összefüggés ( $r=0.97$ ) bizonyítja az *in vivo* módszer alkalmazhatóságát a színhústartalom meghatározásában. Hasonló az összefüggés ( $r=0.95$ ) a zsírtartalom becslésénél. A kapott eredmények jó egyezést mutatnak a Horn és mtsai (1997) által közölt adatokkal. A 4.3.1. fejezetben leírtak szerinti, a kulmbachi rendszerű daraboláson, illetve a hisztogram fájlok PLS regresszióval történő feldolgozásán alapuló módszer magasabb ( $r=0.99$ ) korrelációs értékkel jellemezhető, ugyanakkor az itt elért becslési pontosság a gyakorlati felhasználás céljaira tökéletesen megfelelő.

Az adatfeldolgozás első lépésében a teljestesten belüli izom és zsíreloszlást vizsgáltuk az eltérő testsúly kategóriákban. A 69. ábra a legzsírosabb (36.3 %) és a legsoványabb (67.1 %) sertések testösszetételét szemlélteti a NEXPO módszerrel ábrázolva.



**69. ábra** A legzsírosabb és legsoványabb sertések testösszetételének 3D hisztogramja

Mindkét csoporton belül az izomszövetre jellemző tartományban (HUv 22-40) két jellemző csúcs látható. A fej felől számítva az első a lapocka tájék (2-15). A következő alacsonyabb terület a gerinc régiója, majd ezt követi a comb tájéka, a legnagyobb kiemelkedésként (40-58). A zsír tartományban (HUv 1-18) rendkívül erős különbség látható a két csoport között.

A képfeldolgozás második részében meghatároztuk az izom/zsír arányt a teljestestben, illetve a hasi részen. A becslült értékeket a 32. táblázat tartalmazza, kiegészítve a különböző testsúly kategóriákhoz tartozó, CT-vel meghatározott színhústartalommal.

**32. táblázat** Az eltérő testsúlyú csoportok jellemzői

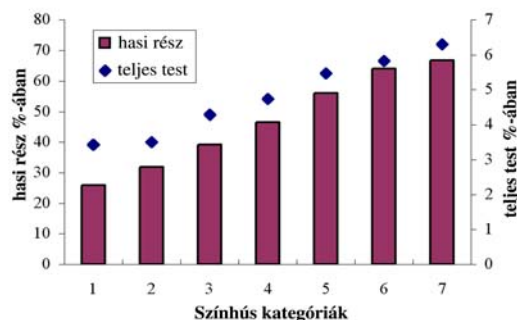
Testsúly kategória	n	Átlagsúly (kg) ± SD	Színhús EU%	Izom/zsír arány az oldalsó részben	Izom/zsír arány a teljestestben
1	12	76 ± 6.8	50.6	1.13	2.16
2	28	92 ± 2.6	51.6	1.20	2.49
3	19	99 ± 3.2	50.5	1.01	2.13
4	11	111 ± 2.3	51	1.02	2.05
5	16	123 ± 2.9	55.4	1.34	2.75
6	29	129 ± 2.6	56.7	1.34	2.91
7	15	140 ± 2.7	49.1	0.81	1.76

A közölt adatok alapján nem volt szignifikáns eltérés kimutatható a különböző testsúly kategóriákhoz tartozó arányértékek között. Ennek alapján megállapítható, hogy a testsúly önmagában nem alkalmas a hasi részen belüli izom/zsír rétegek megoszlásának jellemzésére. Ezt követően a vizsgált sertéseket hét csoportra osztottuk a CT-vel meghatározott színhústartalom alapján. A 33. táblázatban bemutatott adatokból világosan látható, hogy az izom/zsír arány emelkedése – a teljestesten, illetve a hasi részen belül – együttjár a színhústartalom növekedésével.

**33. táblázat** Az eltérő színhústartalmú csoportok jellemzői

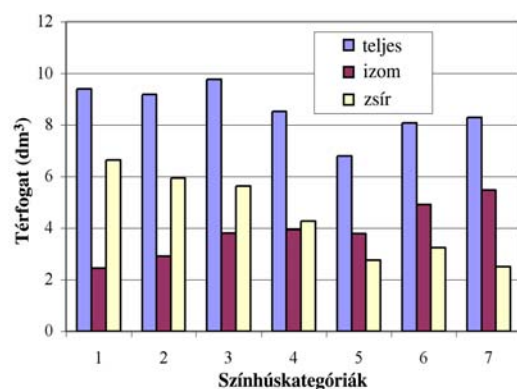
Színhús kategória	n	Átlagsúly (kg)	Színhús EU% ± SD	Izom/zsír arány az oldalsó részben	Izom/zsír arány a teljestestben
1	15	104	36.3 ± 1.8	0.37	0.82
2	15	110	41.4 ± 2.1	0.49	1.07
3	23	117	46.9 ± 1.9	0.69	1.42
4	17	112	52.3 ± 2.2	0.96	1.89
5	19	94	57.4 ± 1.9	1.42	2.78
6	27	117	62.0 ± 1.5	1.65	3.53
7	14	121	67.1 ± 1.3	2.41	5.19

Ezt a szignifikáns változást mutatja a 70. ábra, amelyen a hasi rész izom térfogatát a teljes test, illetve a hasi rész teljes térfogatához viszonyítva százalékosan fejeztük ki.



**70. ábra** Az izomszövet arányának változása a teljes testben, illetve az oldalsó részben a színhústartalom függvényében

képalkotás megfelelő eljárás az izom és a zsírszövet elkülönítésében (Baulain és Henne, 1999). A CT alapú módszernél a problémát Choi és mtsai (1991) által leírt kevert voxelek jelenléte okozza. (A kevert térfogat egységek (voxel) hasi részben való gyakori előfordulásának oka, hogy az izom/zsír határfelületek vastagsága alatta marad a CT fizikai felbontóképességének, ami megközelítően 1 x 1 mm szorozva az alkalmazott 10 mm-es szeletvastagsággal (10 mm<sup>3</sup>)). (A problémát nagyobb részben kezelni tudó PLS eljárás a 4.3.1. fejezetben került ismertetésre.)



**71. ábra** A bacon rész szöveti összetételének változása

vágósúlyban (Johnson és mtsai, 1984). Napjainkban a vonatkozó érték 60 % körüli (hasonló a 6. színhús kategóriához), 85 kg-os élősúlyban mérve (Tholen és mtsai, 2003). Az eredmények alapján az oldalsó részen belül leírt, az izom és zsírszövet térfogatában, valamint azok arányában mutatkozó jelentős variabilitás igen kedvezőnek ítéltető az értékmérőre irányuló szelekció szempontjából.

A nagy CT adatbázist felhasználva kísérletet tettünk az izomminőség jellemzésére is. A 65. ábrán szereplő színhúskategóriáknak megfelelő átlagos HU érték sorrendben 57, 58, 59, 60, 62, 62 és 63 volt. A növekvő denzitás értékek jelzik, hogy a színhústartalom emelkedésével párhuzamosan az *intramuscularis* zsírtartalom csökken. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a hasi rész meglehetősen extrém, abban az értelemben, hogy vékony szövetrétegeket

A bemutatott eredmények szerint a hasi rész izomszázalékában mért eltérés (26 és 67 %) a két szélsőséges színhústartalmú csoport között (36 és 67 %) több, mint kétszeres. Általában szoros összefüggésről számolnak be a teljes karkasz, illetve az értékes comb, gerinc és lapocka színhústartalma között (Pfuhl és Glodek 1996). Ezzel szemben Hulsege és mtsai (1990) szerint kevésbé határozott a korreláció a teljes karkasz és a hasi rész között, aminek magyarázata az utóbbi összetétel vizsgálatának problematikája, a konvencionális módszerekkel. A kérdést módszertani szempontból közelítve, a keresztmetszeti

A szöveti összetétel, hasi részen belüli térfogatossá válását a 71. ábra szemlélteti. Figyelemre méltó módon a hasi rész teljes térfogatában viszonylag alacsony, nem szignifikáns eltéréseket találunk (8.6±1 dm<sup>3</sup>), az eltérő színhústartalmú csoportok között. Ugyanakkor igen jelentős zsírtérfogat csökkenés (6.6 és 2.5 dm<sup>3</sup>) és vele párhuzamosan izomtér-fogat növekedés (2.4 és 5.5 dm<sup>3</sup>) volt tapasztalható. A hasi rész színhústartalmának becsült értéke megfelelt az irodalmi adatoknak. Hús évvel ezelőtt egy tipikusnak tekinthető sertés hasi részének színhústartalma 45 % alatt maradt (azonos a 3. színhús kategóriával) 103 kg-os



tartalmaz, amely nagyszámú kevert voxelt eredményez. Az ilyen, az izomminőség jellemzését célzó CT alapú vizsgálatok meglehetősen ritkák, tekintettel a nagy adatbázis igényre. Nyulakon folytatott vizsgálataiban Milisits (1998) fordított hatást írt le, amennyiben a hosszú hátizom víztartalmának növekedésével párhuzamosan a jellemző denzitásértékek csökkenését regisztrálta.

Üzemi körülmények között nincs mód egy adott értékmérő, esetünkben a hasi rész jellemzőinek mindig egy előre meghatározott testsúlyban történő vizsgálatára. Ahhoz, hogy a hasi rész összetevőinek testsúlyfüggő változását leírjuk tíz lapály típusú ártányt vizsgáltunk, úgy, hogy minden egyedet az előre meghatározott testsúlyban (70, 90 és 110 kg) vittük CT-re. A feldolgozás során meghatározott átlagos izom/zsír arány 4.17 ( $\pm 0.73$ ), 3.21 ( $\pm 0.48$ ) és 2.82 ( $\pm 0.64$ ) volt. Jól érzékelhető a vizsgált testsúly tartományban az izom/zsír arány folyamatos csökkenése. Az egyedi adatokra többváltozós lineáris regressziós egyenletet illesztettünk ( $M/F = -0,0301 * LW + 6,0153$ , ahol M/F: izom/zsír arány, LW: testsúly). A 0.65-ös, szignifikáns „r” érték nem túl szoros. Tekintettel az alacsony mintaszámra elfogadható és alkalmas az egyedi adatok standard testtömegre való korrekciójára, ami szelekciós célú döntések esetén jelentős segítség.

A bemutatott CT módszertannal egy lapály sertés populáció hasi összetételét jellemeztük, számottevő, testsúlytól független eltérést írtunk le. Ennek alapján szelekciós kísérletet kezdtünk.

#### **4.5.2. A szívteljesítmény és a bacon jelleg javítására irányuló szelekció**

A következő részben a szelekció alapját képező lapály populáció szülői nemzedékére jellemző variabilitást ismertetem, tulajdonságokként. Ennek során mindkét ivarban számszerűsítettük a bacon rész szöveti összetételét a 4.5.1. fejezetben bemutatott módon, illetve jellemeztük a kanok szívteljesítményét a vázizomzatra vonatkoztatott perctérfogat érték alapján (4.4.3.). A képalkotó vizsgálatok eredményei alapján kiválasztottuk a tenyészállat jelölteket, majd kétirányú szelekciót követően – hasonlóan a CT-re alapozott, a vágóérték növelését célzó nyúl tenyészkiválasztáshoz (Szendrő és mtsai, 1996; Romvári, 1996d) – jellemeztük az első generációt.

##### **4.5.2.1. A szülői populáció jellemzése**

A 3.1.6. fejezetben ismertetett lapály vonalból 130 hímivarú sertést vizsgáltunk meg. Stressz-érzékenység miatt 17 állatot DNS markerek alapján kizártunk, így a vizsgált egyedek mindkét szülője homozigóta negatív (NN) volt. Ezt követően az ÜSTV eredmények alapján további 33 állatot kizártunk. A képalkotó vizsgálatokra így csak 16 mm-nél vékonyabb hátszalonna vastagságú és az 550 g/nap értéket meghaladó testsúly gyarapodást mutató egyedek kerültek. A 87 lapály típusú kocasüldőből a stressz-érzékenység miatt 6 állatot, majd az ÜSTV eredmények alapján további 31 egyedet kizártunk. A tenyésztésbe került kocasüldők hátszalonna vastagsága 16 mm alatt, súlygyarapodása pedig 470 g/nap felett volt. Ennek megfelelően a korábban kidolgozott MRI és CT metodika alapján a képalkotó vizsgálatokra 36 hímivarú és 50 nőivarú sertés került.

##### *Szívteljesítmény*

Az utóbbi évtizedekre jellemző színhústartalom növekedés következményeként viselkedési és élettani jellegű problémák léptek fel (Rauw és mtsai, 1998). A test vázizom tartalmának egyoldalú növekedése fontos szerepet játszott azon kedvezőtlen változásokban, amelyek az egyébként is limitált *cardiovascularis* kapacitású sertést érintették (Rühl, 1971). A szív

növekedése és teljesítménye nem tartott lépést a vázizomzat beépüléssel. Emiatt centrális és perifériális keringési rendellenességek alakulnak ki, továbbá normál körülmények között jelentéktelen stressz is elhulláshoz vezethet (sudden death syndrome) (Topel és mtsai, 1968). Problémát jelent a testtömeghez viszonyított kis vérmennyiség, valamint a különböző szívizomszövet területek eltérő vérellátása is (Ritman, 1998). Kisebb ingerek is jelentősen emelik a szívverések számát, ami a szisztolés szakasz relatív növekedését okozza. Kifejlett korban a kritikus szívfrekvencia érték 170/perc (Tóth, 1993), e felett a pitvar összehúzódásának kezdete megelőzi a kamra kontrakciójának befejeződését, ami a haemodinamika romlását okozza. Terhelés esetén a kifejlett sertés szívfrekvenciája hamar eléri ezt a maximum értékét, melyet csak néhány percig képes tartani, bizonyítva koronáriakeringésének alacsony alkalmazkodási képességét (White és mtsai, 1981). Miután a sertésszív tartalékai alacsonyak, ezért rövid ideig tartó *tachycardia* is a szív kimerüléséhez vezet. Más fajokhoz viszonyítva mintegy 22 %-al kisebb a szívizom O<sub>2</sub> anyagszeréje, amely egyfelől a szívizomsejtek nagyobb átmérőjével, másfelől a gyenge artériás telítettséggel magyarázható. A nagy sejtátmérő a CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> diffúziót rontja, mely érték az állat növekedése során a rostok keresztmetszeti felszínének csökkenésével még kedvezőtlenebbé válik (Renk, 1951; Thielscher, 1987). Mindezek alapján Haley és Archibald (2003) legújabb munkájukban, amely a sertés genetikában elért eredményeket foglalják össze, a további fejlődés szempontjából lényegesnek tartják az általános értelemben vett ellenállóképesség tenyésztési célként történő figyelembe vételét. Utóbbi fogalom többek között magába foglalja a hatékony és jól kiegyensúlyozott *cardiovascularis* rendszert is.

A szívteljesítmény jellemzése érdekében a két *in vivo* vizsgálatot egy altatásban végeztük, úgy, hogy először az MR felvételezésre került sor. A kísérleti állatok húsz százalékában különböző okok miatt nem kaptunk megfelelően értékelhető eredményt, ami az intenzív, igen nagy teljesítményű tenyészállatok érzékenységevel magyarázható. Az előkészítési szakaszban, illetve a felvételezés során tapasztalt nehezített légzés, vagy az egyenlőtlen szívfrekvencia okozta metodikai problémák ugyanakkor előszelekciónak tekinthetők. A 30 jól értékelhetőnek bizonyult hímivarú egyed dinamikus MRI és térfogatos CT vizsgálati eredményeit a 34. táblázat tartalmazza.

**34. táblázat A szülői generáció szívteljesítményének jellemzői**

	LW (kg)	LVEDV (ml)	LVESV (ml)	LVSV (ml)	LVEF (%)	HR (b/m)	CO (l/min)	MVTB (dm <sup>3</sup> )	RCO dm <sup>3</sup> / (L · min <sup>-1</sup> )
Átlag	95.8	104.2	43.5	60.6	58.9	114.2	6.89	48.7	7.29
SD	8.5	16.3	15.5	10.9	10.0	12.4	1.27	5.17	1.50

LW = testsúly, LVEDV = balkamrai végdiasztolés térfogat, LVESV = balkamrai végszisztolés térfogat, LVSV = balkamrai verőtér-fogat, LVEF = balkamrai ejekciós frakció, HR = szívfrekvencia, CO = perctér-fogat, MVTB = teljestest izomtér-fogat, RCO = relatív perctér-fogat

A mért verőtér-fogat értékek jó egyezést mutatnak korábbi adatainkkal. Az átlagos 58,9 %-os ejekciós frakció, a humán adatokkal analóg módon a normál élettani állapotnak felel meg. Ezzel szemben a minimumként megadott 32,7 % alacsonynak tekinthető. A számított perctér-fogat érték a szívteljesítmény fontos mutatója, a közel kétszeres különbség a minimum és maximum értékek között (4.5- 9.6 L/min) igen figyelemre méltó.

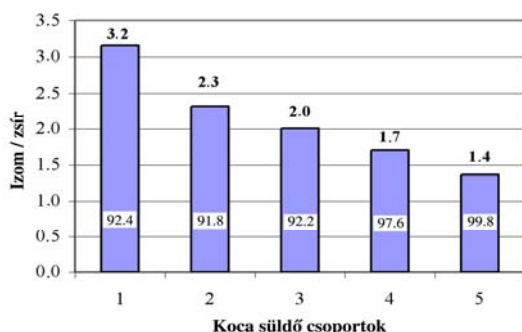
A CT vizsgálat eredményeinek feldolgozásával meghatároztuk a teljestest izomtér-fogatát is. Ezt követően a CT és MRI adatok együttes értékelésével megadtuk a relatív perctér-fogat értéket. A 4.4.3. fejezetben leírtak alapján ez a mutató alkalmas a szívteljesítmény jellemzésére.

## Bacon jelleg

Nyolcvan kacsüdön, illetve 50 kocasüdön CT vizsgálattal meghatároztuk az oldalsó rész izom- és zsírszövet térfogatát, valamint ezek arányát. A mért izom/zsír arány értékeket az előző fejezetben (4.5.1.) leírt összefüggés alapján, 95 kg-os testsúlyra korrigáltuk (35. táblázat).

**35. táblázat Az oldalsó rész szöveti összetételének jellemzői**

	Hímivar (n=80)				Nőivar (n=50)			
	testsúly	Zsírtérfogat (cm <sup>3</sup> )	Izomtérfogat (cm <sup>3</sup> )	Izom/zsír arány	testsúly	Zsírtérfogat (cm <sup>3</sup> )	Izomtérfogat (cm <sup>3</sup> )	Izom/zsír arány
Átlag	95.8	1066	2613	2.6	94.7	1214	2361	2.1
SD	8.5	270	326	0.7	7.8	339	238	0.7
Min.	78.0	649	1858	1.5	79	437	1856	1.0
Max.	112.5	1877	3274	4.3	114.5	2185	2884	5.4



**72. ábra A kialakított kocasüldő csoportok átlagsúlya, az oldalsó rész átlagos izom/zsír arányának, feltüntetésével**

Az ivar hatása a szöveti összetételre szignifikánsnak bizonyult ( $p=0.003$ ).

A kocasüldőket az izom/zsír arány alapján sorbarendeztük, majd tízes csoportokat képeztünk (72. ábra). A két szélső csoport, de figyelemre méltó módon az azonos átlagsúlyú 1., 2. és 3. csoport közötti arányeltérés igen jelentősnek tekinthető és mint ilyen, biztató az értékmérő szelekcióval történő módosítására.

### Tenyészkanok kiválasztása

A kanok szívteljesítményét az egységnyi vázizomtömegre vonatkoztatott CO értékkel jellemeztük, ami a jól értékelhető MRI vizsgálatok átlagában  $7.29 \text{ dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$  volt. Ugyanezen állatok spirál CT felvételezéssel meghatározott izom/zsír arányának átlaga 2.6 volt a hasi régióban. A tenyészállatok elsődleges kiválasztási szempontja a szívteljesítmény volt. A  $6.8 \text{ dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$  relCO érték alatti kanokat rangsoroltuk a hasi rész összetétele alapján, szelekciós limitnek a 3.5 feletti izom/zsír arányt választottuk.

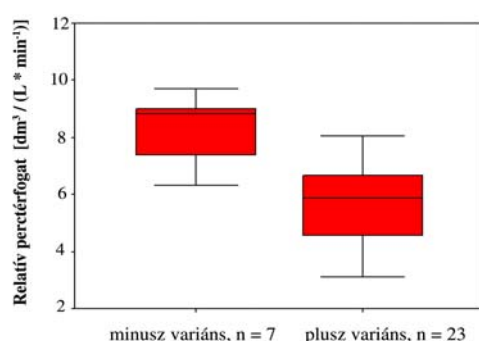
Ezt követően a két paraméter együttes figyelembe vételével kiválasztott négy plusz- és az egy mínusz variáns kant tenyésztésbe állítottuk (relCO: 5.14, 5.69, 6.14, 6.74 és  $8.97 \text{ dm}^3/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ ), illetve izom/zsír arány: 4.3, 3.8, 3.6, 3.5. és 2.1). A kocasüldőket az átlagos izom/zsír arány (2.1) alapján sorbarendeztük, majd az első tizet a legjobb, az utolsó tizet pedig a legrosszabb kanhoz osztottuk be. A 11-től 39-ig rangsorolt nőivarú egyedeket arányosan a 2., a 3. vagy a 4. helyezett kannal termékenyítettük.

Biometriai feldolgozás során nem találtunk összefüggést a mért bacon-, illetve szívteljesítmény jellemzők között, ezért a kétirányú szelekció hatását a két tulajdonság szempontjából külön-külön értékeltük. Tekintettel voltunk arra, hogy szemben a szívteljesítmény vizsgálatával, a bacon jellemzőknél mindkét szülő egyedi adatai ismertek. Amíg tehát a szívteljesítmény szempontjából a kocasüldőket random módon párosítottuk a kiválasztott kanokkal, addig a bacon esetében ez irányítottan történt.

#### 4.5.2.2. Az első utódgeneráció jellemzése

##### *Szívteljesítmény*

Az első szelektált nemzedék egyedeinél a szülőihez képest szigorúbb szelekciós limiteket állítottunk fel a hizlalási és karkasz tulajdonságokban. Ennek megfelelően a hímivarú egyedek 15 %-a ( $n=33$  átlagsúly= $91.1\pm4.2$  kg) került MRI és CT vizsgálatra (ebből háromnál az MRI felvételezés értékelhetetlen volt). A csoport átlagos relatív perctérfogat értéke  $6.3\pm0.9$   $\text{dm}^3/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$  volt. Annak érdekében, hogy a kétirányú szelekció szívteljesítményre gyakorolt hatását értékelni lehessen a két utódcsoporthoz összehasonlítottuk. A négy „plusz variáns” kan utódainak átlagos perctérfogat értéke  $5.7\pm0.94$ ,  $5.0\pm1.9$ ,  $5.8\pm1.26$  és  $6.0\pm0.7$ , a „minusz variáns” kan utódaié pedig  $8.2\pm0.65$   $\text{dm}^3/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$  volt. A „minusz variáns” és az összevontan kezelt „plusz variáns” csoportok között ( $8.2\pm0.65$ , illetve  $5.63\pm0.70$   $\text{dm}^3/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$ ) szignifikáns különbséget találtunk ( $P = 0.000$ ) (73. ábra).



**73 ábra.** Az utódcsoporthoz relatív perctérfogat értéke a medián és a kvartilisek feltüntetésével

A „plusz variáns” csoport szívteljesítmény értéke összevethető a nagy keringési tartalékokkal jellemezhető mangalica sertéssel, melynek relatív perctérfogat értéke  $4.7$   $\text{dm}^3/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$  (90 kg-os testtömegben). Ugyanakkor a „minusz variáns” kan ivadéka nagyon gyenge szívteljesítményt mutatnak.

A sertés szív funkcionális tulajdonságainak örökölhetőségére nem találtunk irodalmi adatot. Huang és mtsai (2001) vizsgálataikban ugyanakkor rámutattak a genetikai háttér és a szív morfológia összefüggéseire. Lapály és Yorkshire fajták összehasonlító vizsgálata során morfológiai

méréseket végeztek echocardiográfia segítségével. A kamrai falvastagság értékekben szignifikáns különbséget állapítottak meg, úgy, hogy a teljes variancia 77-88 %-a az apai hatásnak volt tulajdonítható.

A sertés szívéhez nagyon hasonló emberi szív egyes struktúrális és funkcionális tulajdonságainak örökölhetőségéről Crick és mtsai (1998) közöltek adatokat. Két európai humán populációt vizsgálva Kuznetsova és mtsai (2003) szignifikáns családok közötti korrelációt írtak le a balkamrai szívtömegben egyenesági rokonok között. Az anya-gyerek kapcsolat  $r$ -értéke szignifikánsan nagyobb volt az apa-gyerek kapcsolaténál. Humán vizsgálati eredmények alapján nyilvánvaló, hogy a balkamrai funkciók genetikailag kontrolláltak (Tang és mtsai, 2002). Igen nagy mintán elvégzett családvizsgálatok (HERITAGE) alapján An és mtsai (2000) megállapították, hogy a verőtérfogat és a perctérfogat értékek közepesen öröklődnek. Család korrelációs modelljük (nem kövér, nem magas vérnyomásos és nyugodt családok) alapján a nyugalmi állapotú verőtérfogat és perctérfogat 46 %-os örökölhetőségét állapították meg. Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy a sertés szív funkcionális jellemzői hasonló mértékben öröklődhetnek.

Általánosan ismert és elfogadott tény, hogy a súlygyarapodás növelésére irányuló szelekció terheli a légző és keringő rendszert (Emmans és Kyriazakis, 2000). Tekintettel erre a kedvezőtlen hatásra a szívteljesítményt, mint egy kiemelt jelentőségű élettani jellemzőt beillesztettük szelekciós eljárásunkba. Ennek alapját az a nagy variabilitás adta, amit a szülői nemzedék screenelésénél tapasztaltunk a relatív perctérfogatban. A kis egyedszám miatt

modellszintűnek tekinthető vizsgálatban az első generációban leírt szívteljesítmény különbségek figyelemre méltóak és valószínűsítik a módszer szelekciós célú alkalmazhatóságát. Ennek megfelelően a tenyésztési programot tovább folytatjuk egy nagyobb lapály típusú állományon.

#### *Bacon jelleg*

A szülői nemzedéknél is figyelembe vett szelekciós szempontok (súlygyarapodás, hátszalonna vastagság) alapján a született kocasüldők 20 %-a, továbbá a szívteljesítmény szempontjából vizsgált 33 kansüldő került CT-re. A mért izom/zsír arány értékeket 95 kg-os testsúlyra korrigáltuk (36. táblázat).

**36. táblázat** Az első szelektált generáció szöveti összetétele az oldalsó részben

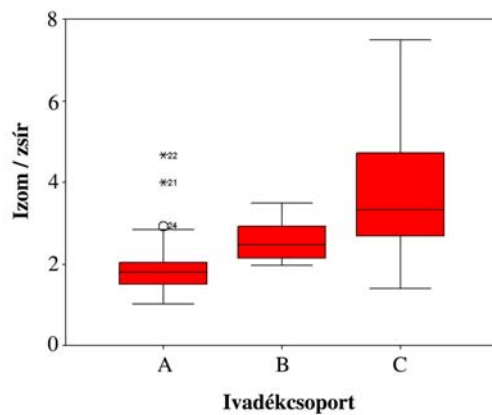
	Hímivar (n = 33)		Nőivar (n = 40)	
	Testsúly (kg)	Izom/zsír arány	Testsúly (kg)	Izom/zsír arány
Átlag	90.3	3.3	88.8	2.9
SD	8.9	1.21	8.4	1.37
Minimum	78	1.4	76	1.0
Maximum	110	7.5	110	7.5

A szülői nemzedékhez hasonlóan a mért értékek mindkét ivarban gyengén nőttek (2.6, illetve 2.1-ről 3.2, illetve 2.9-re, a hím és a nőivarban). Ez magyarázható az utódgenerációnál alkalmazott nagyobb szelekciós nyomással, illetve azzal, hogy aszimmetrikusan négy „plusz variáns” és egy „minusz variáns” apa került tenyésztésbe. Bár abszolút értékben az ivarok közötti eltérés - az oldalsó rész izom/zsír arányában - közel azonos volt a szülői nemzedékhez képest (35. táblázat), ez a nagy szórás miatt mégsem bizonyult szignifikánsnak.

A bacon jellegre történő szelekció eredményességének megítélésekor figyelembe vettük, hogy az oldalsó rész izom/zsír arány esetében mindkét szülő adatait ismertük. Ennek megfelelően mindkét ivarban a szülők teljesítményértékéhez pontokat rendeltünk a következők szerint: izom/zsír arány 1.01 - 1.5 = 1; 1.51 - 2.0 = 2; 2.01 - 2.5 = 3; 2.51 - 3.0 = 4; 3.01 - 3.5 = 5; 3.51 - 4.0 = 6; 4.01 - 4.5 = 7; 4.51 - 5.0 = 8. Ezt követően a szülők pontértékeit összeadtuk, ez alapján a teljes vizsgálati minta átlaga 7.93 volt. Ezután három csoportot képeztünk: átlag alatti (5, illetve 7 pont), átlagos (8 pont), átlag feletti (9, 10, illetve 11 pont), majd az utódokat ennek alapján értékeltük (37. táblázat).

**37. táblázat** Az oldalsó rész izom/zsír arányának alakulása csoportonként

Csoport	Izom/zsír arány	
	Átlag	SD
Átlag alatti (n=25)	2.00 <sup>a</sup>	0.829
Átlagos (n=7)	2.58 <sup>ab</sup>	0.564
Átlag feletti (n=28)	3.73 <sup>bc</sup>	1.445



**74. ábra** Az izom/zsír arány alakulása

akkor is jelentős, ha figyelembe vesszük a szülői generációban mutatkozó igen nagy variabilitást. Korábbi vizsgálatainkban nyúlön végzett kétirányú szelekció eredményeképpen a hosszú hátizom metszési felszínében 7 %-os eltérést kaptunk a „-”, és „+” variáns egyedek között úgy, hogy a nőivarú állományt nem vizsgáltuk CT-n (Romvári, 1996d).

A 37. táblázatban közölt kategóriáknak megfelelően ábrázolja a 74. ábra a bacon jelleget a medián, a kvartilisek és a kiugró értékek megjelölésével.

Amennyiben az ivadékcsoportok egyedeit ivaronként külön vizsgáljuk, úgy a kansüldőknél, illetve a kocasüldőknél az 1., 2. és 3. csoport 2.5, 3.1 és 3.8, illetve 1.9, 2.2 és 3.9-es izom/zsír arány értékkel jellemezhető, megerősítve a 36. táblázatban közölt eredményeket.

A két szélső csoport között a bacon rész színhústömegében mért 13 %-os különbség

Mindezeket **összefoglalva**, a fejezetben bemutatott vizsgálatok eredményei bizonyítják a CT és MRI technika alkalmazásának hasznosságát a sertés tenyésztésben. A két módszer együttes alkalmazásával nemzetközi szinten is elsőként értünk el eredményeket a vázizomzatra vonatkoztatott szívteljesítmény *in vivo* mérésében, felhívva a figyelmet a tulajdonság javítására irányuló szelekció lehetőségére.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Értekezésem közel tíz év keresztmetszeti képalkotó vizsgálatokon alapuló munkájának eredményeit foglalja össze. Ennek során felhasználtuk a CT és MRI módszerek lehetőségeit, ugyanakkor alapoztunk a kutatóhely kiemelkedő kísérletes állattenyésztési hátterére is.

Vizsgálataink során különböző *in vivo*, a kémiai testösszetételt becslő eljárásokat dolgoztunk ki. Ezen közelítések a CT felvételek képalkotó pixeleihez tartozó röntgensugár elnyelődési értékek gyakorisági eloszlásán alapulnak. A képfeldolgozás során meghatározott, HU változókon alapuló becslő módszerekkel a nyerszsír tartalom - állatfajtól függetlenül - igen jól becsülhető, míg a nyersfehérje tartalom meghatározás pontossága ettől elmarad. Lényeges eredmény, hogy a vizsgált állatfajok mindegyikénél lehetőség volt a felvételszám jelentős csökkentésére, a testösszetételt önmagában is jól jellemző régiók kiemelésével (nyúlön: vállöv, vesetájék, medence; brojlercsirkén: abdominális régió; halon: hátúszó területe). A főkomponens analízis megfelelő módszernek bizonyult a kémiai összetétel megállapítására, amit a becslőegyenletek független állományokon való tesztelése bizonyított. További vizsgálatainkban elsőként igazoltuk, hogy a PLS regresszió alapuló feldolgozás jelentősen javítja a becslési pontosságot.

A szöveti összetétel meghatározását célzó vizsgálataink eredményei alapján megállapítható, hogy a CT felvételek gyakorisági eloszlásaiból származtatott burkoló felületek alkalmazása jó lehetőséget nyújt a növekedés során bekövetkező szöveti összetétel-változások követésére. Ugyanazon állat ismételt felvételezésével, illetve csoport átlagokra alapozva eltérő baromfi és sertés genotípusokat hasonlítottunk össze. Ennek során rámutattunk néhány, a vázizomzat beépülés növelésére irányuló szelekció eredményeképpen létrejött alapvető testösszetétel különbségre. Tojótyúk vedletéssel és anyanyúl vemhességgel kapcsolatos vizsgálatokkal bizonyítottuk a módszer használhatóságát rövidtávú, de jelentős testösszetétel változással járó folyamatok értékelésében is.

Állattenyésztési szempontból újszerűek azok a spirál CT felvételek szekvenálásán alapuló háromdimenziós rekonstrukciós közelítések, amelyek jól alkalmazhatók eltérő szervek, izomcsoportok pontos geometriai megjelenítésére. Ezen 3D modellezések további előnye, hogy a próbavágást, illetve darabolást igénylő mérésekkel szemben a valós anatómiai viszonyok vizsgálhatók, így az egyes genotípusok közötti eltérések, illetve bizonyos szelekciós hatások pontosabban megítélhetők. Az általunk kidolgozott módszer lehetőségeit jól szemléltetik a lúdfajban a tömés alatt és után, a májbeépülés és a májminőség egy lépésben történő követését célzó vizsgálatok egyértelmű és egyúttal nagy gyakorlati jelentőségű eredményei.

Elsősorban módszertani jellegű kísérletekben vizsgáltuk az MRI alkalmazásának lehetőségeit a szöveti összetétel (izom-zsír) *in vivo* meghatározásában. Eredményeink alapján a *coronalis* síkú felvételek alkalmasnak bizonyultak brojlercsirkékben a *pectoralis* izomok és az abdominális zsírdepó, illetve nyúlban a vesekörüli zsír, valamint a hátúszó rész térfogatának mérésére. A CT és MRI vizsgálati módszer, a szöveti összetétel mérés szempontjából történő összehasonlítása közel azonos becslési pontosságot adott, ugyanakkor utóbbi vizsgálati költségei magasabbak, a berendezések elérhetősége is korlátozottabb.

Az Európai Unió szabályozása szerint minden, a színhústartalom meghatározására szolgáló karkasz-minősítő készüléket kalibrálni kell, az úgynevezett EU referencia módszer alkalmazásával. Az eljárásnak számos hátránya van: költséges, nagy az időigénye és szubjektivitása miatt nehezen standardizálható. Nemzetközi együttműködés keretében végeztünk CT és MRI vizsgálatokat a darabolást kiváltó referenciamódszer kidolgozása

céljából. Az eredmények szerint a CT képalkotáson alapuló módszer hibája lényegesen alacsonyabb, mint az eddig referenciának használt próbavágásé, - még akkor is, ha különleges szakértelem alapján válogatott hentesek végzik azt - ugyanakkor könnyen standardizálható, automatizálható. Ennek alapján a módszer EU referenciakénti bevezetésére az első lépések megtörténtek.

A húshasznú állatfajokban a vágóérték javítására irányuló szelekció eredményeképpen jelentősen nőtt a vágott testben a színhústartalom. A több évtizedes folyamat különösen a sertés és a pulyka esetében kifejezett. Az utóbbi években azonban egyre több jel utal arra, hogy az egyoldalú, a vázizomzat növelését eredményező változás a szervezet más szervrendszereit, elsősorban a légző- és a keringési rendszert terheli. Utóbbi vizsgálatának egyik lehetséges módja a szívteljesítmény nem invazív, *in vivo* mérése. Kísérleteink során adaptáltuk a dinamikus szív MRI módszerét juhra és pulykára, majd nemzetközi szinten is először vizsgáltuk a szívteljesítmény és a vázizomtérfogat összefüggéseit, rámutatva a keringési tartalékok csökkenésére nagy hústermelési kapacitású pulykában.

Napjainkban jól érzékelhető az élelmiszertermékek piacán a fogyasztói igények diverzifikálódása, így az élénkülő érdeklődés a kedvezőbb hús/zsír arányt mutató bacon szalonna iránt. Vizsgálataink során módszert dolgoztunk ki a hasi rész zsír- és izomrétegek volumenének és eloszlásának mérésére lapály sertés populációban. Kétirányú szelekció során szakmailag jelentős, szignifikáns eltérést mutattunk ki az ivadékcsoportok bacon részének szöveti összetétele között. Eredményeink utóbbi vonatkozásban rámutatnak arra is, hogy még a legkiemelkedőbb modern sertésvonalakban is számottevő a genetikai variabilitás olyan fontos értékmérő tulajdonságokban, amelyekre korábban nem szelektáltak.

A sertések növekvő színhústartalma viselkedési és élettani jellegű problémák fokozott megjelenésével járt együtt. A test vázizomtartalmának egyoldalú növekedése meghatározó szerepet játszott azon kedvezőtlen változásokban, amelyek az egyébként is limitált *cardiovascularis* kapacitású sertést érintették. Ezen okok miatt megjelent az általános értelemben vett ellenállóképesség, ennek részeként pedig a hatékony és jól kiegyensúlyozott *cardiovascularis* rendszer, mint új szelekciós kritérium. Ehhez kapcsolódva a CT és MRI módszer kombinált használatával értünk el eredményeket a vázizomzatra vonatkoztatott szívteljesítmény *in vivo* mérésében, megtéve az első lépéseket a szelekciós felhasználás irányában.

A disszertációban bemutatott eredmények szélesítették az állattenyésztési célú keresztmetszeti képalkotás felhasználási területét. A kifejlesztett nem invazív, *in vivo* módszerek alkalmazása sajátos lehetőségeket biztosít a testösszetétel vizsgálatában, illetve szelekciós döntések meghozatalakor. A kaposvári vizsgálatok kezdetén, a 90-es évek elején a kutatóhely nemzetközileg is egyedülálló lehetőségeket nyújtott a CT és MRI képalkotásban. Az utóbbi években ugyanakkor jól láthatóan növekszik ezen eljárások - elsősorban a CT módszer - alkalmazása az állattudományok területén. Legújabb információink szerint számos európai kutatóhely telepít CT berendezést, vagy tervezi annak üzembe állítását. Megítélésem szerint ehhez a kedvező folyamathoz kutatási eredményeink érdemben hozzájárultak.



## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### Módszertan

- Főkomponens analízisen alapuló módszerrel becslőegyenleteket dolgoztunk ki húsnyulak és brojlercsirkék teljestest-, valamint eltérő genotípusú haltestek összetételének *in vivo* becslésére.
- A töméses libamáj előállítás során - a CT felvételekből képzett gyakorisági eloszlások feldolgozásának új módszereként - PLS regresszió alkalmazásával becslési eljárást fejlesztettünk a máj nyerszsír- és nyersfehérje-tartalmának *in vivo* meghatározására.
- *In vivo* CT vizsgálaton alapuló eljárást dolgoztunk ki sertésen, az oldalsó rész (bacon szalonna) szöveti összetételének meghatározására.
- Módszertani jellegű vizsgálatokban depózsír- és izomtérfogat alapértékeket határoztunk meg *in vivo* MR felvételezéssel húsnyúlön és brojlercsirkén.
- Az *in vivo* CT és MRI módszer együttes használatán alapuló eljárást fejlesztettünk a szívteljesítmény funkcionális vizsgálatára pulykák és juhok esetében.

### Állattenyésztési alkalmazások

- Vemhes nyulak ismételt CT felvételezésével az anyai depózsír mennyiségének magzatszámától függő csökkenését írtuk le a vemhesség során, 3D térhálók, illetve az általunk fejlesztett HU indexek alkalmazásával.
- Bronzpulyka és nagy növekedési kapacitású pulyka, illetve mangalica- és modern húsertés összehasonlító növekedés-vizsgálatával leírtuk a színhústartalom növelésére, a testarányok megváltoztatására irányuló hosszútávú szelekció hatásait.
- Mesterséges vedletési ciklus, majd az azt követő regenerációs periódus során, tojótyúkban leírtuk a zsír- és az izomszövet, valamint a hasúri szervek térfogatának reverzibilisnek bizonyuló változásait.
- A sertés féltestek színhústartalmának CT-n alapuló mérése során elértük az eddig referenciaként használt kulmbachi típusú darabolás megbízhatóságát. A vizsgálatok során definiáltuk a sertés féltestek vázizomszövetére jellemző denzitás tartományt, valamint felhívtuk a figyelmet a féltestek közötti aszimmetria jelentőségére.
- Nemzetközi szinten is elsőként határoztuk meg a szívteljesítmény és a vázizomtérfogat kor- és ivarfüggő összefüggését nagy növekedési intenzitású és kapacitású pulykán. Felhívtuk a figyelmet az egyoldalú, a mellizomzat részarányát növelő szelekciós gyakorlat potenciális veszélyeire, amely jellemzően a *cardiovascularis* rendszert érinti.
- Intenzív húsertésen végzett kétirányú szelekciós modell kísérletben bizonyítottuk az oldalsó rész szöveti összetételének módosíthatóságát, továbbá a szívteljesítmény javítására irányuló, *in vivo* CT és MR felvételezésen alapuló tenyészkiválasztás lehetőségét.

## 6. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

- Az „animal welfare” szemléletmód térnyerésével párhuzamosan felértékelődtek az úgynevezett nem invazív, *in vivo* testösszetételt vizsgáló módszerek. Ennek megfelelően a jövőben a CT képalkotás állattudományi jelentőségének növekedése prognosztizálható, mindazon területeken, ahol az invazív eljárások felváltására lehetőség van.
- A testösszetétel változás 3D hisztogramokon alapuló vizsgálata lehetővé teszi eltérő genotípusok növekedési jellemzőinek leírását, a szöveti bépülés anatómiai pontokhoz köthető elemzését. Ugyanazon egyedek ismételt felvételezésével eltérő takarmányozási és tartási rendszerek testösszetételre gyakorolt hatásai számszerűsíthetők.
- A CT képfeldolgozás módszertani fejlesztésében elért eredmények egyrészt javították az *in vivo* testösszetétel becslésének megbízhatóságát (PLS regresszió), másrészt új lehetőségeket nyitottak egyes, gazdasági szempontból kiemelten fontos testrészek, izomcsoportok anatómiai viszonyainak tisztázására (valós 3D megjelenítés).
- A sertés karkaszok vizsgálata során rámutattunk a sertés féltetek között meglévő aszimmetria jelentőségére a színhústartalom meghatározás során. Ehhez kapcsolódva javasoltuk a referenciaként ajánlott, CT alapú módszer mindkét féltesten történő alkalmazását (virtuális vágóhídi bontás). A módszer EU referenciakénti bevezetésére az első lépések megtörténtek.
- Az intenzív hústípusú sertések oldalsó részének szöveti összetételében bizonyított variabilitás, illetve ezen értékmérő szelekciós úton történő módosítására kidolgozott módszer lehetővé teszi a piaci igényekhez igazodó célzott bacon alapanyag előállítását.
- A sertések szívteljesítményének kvantifikálására irányuló modellszintű kísérleti eredményeink hosszabb távon elősegítik a felnevelés, a hizlalás, illetve szállítás során a kiesések csökkentését, intenzív, nagy termelőképeségű állományokban a jelenleginél jobb *cardiovascularis* teljesítményű egyedek előállításával.
- Az elvégzett szoftver fejlesztések hatékonyabbá tették a CT képfeldolgozást kutatási-, illetve rutin célú vizsgálatoknál. A programok és a vizsgálati eredmények bemutatásra kerülnek a graduális és posztgraduális szintű oktatásban is.
- A sajátteljesítmény-vizsgálat a szelekció hatékonysága szempontjából kiemelt fontosságú. Ennek megfelelően az értekezésben bemutatott a kémiai- és szöveti összetétel *in vivo* meghatározását célzó módszerek a szelekciós döntések megbízhatóságát jelentősen növelik, nagymértékben hozzájárulva ezzel a tenyésztő munka eredményességéhez.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

1. 3D-DOCTOR 2.0 Able Software. Lexington, MA. (1998-1999)
2. Adilovic S., Fuks R., Pandza F., Nadazdin M. (1985): Carcass quality of pigs of different types. *Vet. Yugoslav.* 34, 3-4.
3. Agapova, Z., Sutchkova, O. (2000): Meat poultry breeding: The correlation of chicken exterior parameters with ability to gain muscle weight. XXI. World's Poultry congress, Montreal, Proceedings P11.02, CD-ROM
4. Allen, P., Vangen, O. (1984): X-ray tomography of pigs. Some preliminary results. In: *In vivo measurement of body composition in meat animals.* Elsevier Applied Science Publishers, London, 52-66.
5. An, P., Rice, T., Gagnon, J., Leon, A. S., Skinner, J. S., Bouchard, C., Rao, D. C., Wilmor, J. H. (2000): Familial aggregation of stroke volume and cardiac output during sub maximal exercises: the HERITAGE Family Study. *Int. J. Sport Med.* 21, 566-572.
6. Animut, G., Chandler, K. D. (1996): Effects of exercise on mammary metabolism in the lactating ewe. *Small Rumin. Res.* 20, 205-214.
7. Ankorion, Y., Moav, R., Wohlfarth, G. W. (1992): Bidirectional mass selection for body shape in common carp. *Genet. Sel. Evol.* 24,(1) 43-52.
8. Armstrong, R. B., Delp, M. D., Goljan, E. F., Laughlin, M. H. (1987): Distribution of blood flow in muscles of miniature swine during exercise. *J. Appl. Physiol.* 62, 1285-1298.
9. Ballay, A., Horn, P., Kakuk, T., Jeroch, H., Bekker, J., Sütő, Z. (1983): Nagytestű peccenyecsirkék (roasterek) előállításának biológiai, technológiai és ökonómiai kérdései. *Szaktanácsok* 4, 16-21.
10. Ballay, M., Horn, P., Hamid, K. (1984): Performance of layer hybrid strains in three consecutive laying periods. XVII World's Poultry Congress and exhibition, Helsinki. *Proceedings and Abstracts*, 127-128.
11. Bar, A., Razaphkovsky, V., Wax, E. (2001): Effect of age at molting on postmolting performance. *Poultry Sci.* 80, (7) 874-878.
12. Baulain, U. (1997): Magnetic resonance imaging for the in vivo determination of body composition in animal science. *Comput. Electron. Agr.* 17, (2) 189-203.
13. Baulain, U., Henne, H. (1999): Variation of lean content in pig bellies of dam lines. *Arch. Tierzucht* 42, (6) 593-600.
14. Baulain, U., Henning, M., Kallweit, E. (1996): Determination of body composition in German Landrace pigs of various ages by means of MRI. *Arch. Tierzucht* 39, (4) 431-440.
15. Becker, W. A., Spencer, J. V., Mirosh, L. W., Verstrate, J. A. (1979): Prediction of fat and fat free live weight in broiler chickens using backskin fat, abdominal fat, and live body weight. *Poultry Sci.* 58, 835-842.
16. Beilharz, R. G., Luxford, B. G., Wilkinson, J. L. (1993): Quantitative genetics and evolution: is our understanding of genetics sufficient to explain evolution? *J. Anim. Breed. Genet.* 110, 161-170.
17. Bentsen, H. B., Sehested, E. (1989): Computerized tomography of chickens. *Br. Poultry Sci.* 30, (3) 575-585.
18. Bentsen, H. B., Sehested, E., Kolstad, N., Katle, J. (1986): Body composition traits in broilers measured by computerised tomography. *Proceedings of the Second International Poultry Breeders Conference and Artificial Insemination Workshop, Ayr, April 29-30.* 27-35.
19. Bentsen, H. B., Sehested, E., Kolstad, N., Katle, J. (1989): Body composition traits in broilers measured by computerised tomography. *Zootech. Int.* 4, 46-49.
20. Bielen, E. C., Fagard, R. H., Amery, A. K. (1991): Inheritance of blood pressure and haemodynamic phenotypes measured at rest and during supine dynamic exercise. *J. Hypertens.* 9, 655-663.
21. Biggs, P. E., Douglas, M. W., Koelkebeck, K. W., Parsons, C. (2003): Evaluation of nonfeed removal methods for molting programs. *Poultry Sci.* 82, (5) 749-753.
22. Blasco, A., Ouhayoun, J., Masoero, G. (1993): Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Sci.* 1, (1) 3-10.
23. Bloch, F. (1946): Nuclear induction. *Phys. Rev.* 70, (7-8) 460-474.
24. Bogenfürst, F. (1992): *Lúdtényésztők kézikönyve.* Új Nap Lap és Könyvkiadó, Budapest, 21-30.
25. Boulianne, M., Hunter, D. B., Julian, R. J., O'Grady, M. R., Physick-Sheard, P. W., Viel, L. (1992): Cardiac muscle mass distribution in the domestic turkey and relationship to electrocardiogram. *Avian Dis.* 36, (3) 582-589.
26. Boulianne, M., Hunter, D. B., Physick-Sheard, P. W., Viel, L., Julian, R. J. (1993): Effect of exercise on cardiac output and other cardiovascular parameters of heavy turkeys and relevance to the sudden death syndrome. *Avian Dis.* 37, (1) 98-106.
27. Brake, J., Thaxton, P. (1979): Physiological changes in caged layers during a forced molt. 1. Body temperature and selected blood constituents. *Poultry Sci.* 58, (3) 699-706.
28. Brenoe, U. T., Kolstad, K. (2000): Body composition and development measured repeatedly by computer tomography during growth in two types of turkeys. *Poultry Sci.* 79, (4) 546-552.

29. Brondum, J., Egebo, M., Agerskov, C., Busk, H. (1998): On-line pork carcass grading with the autofom ultrasound system. *J. Anim. Sci.* 76, (7) 1859-1868.
30. Brown, C. M., Hogg, D. A., Kelly, D. F. (1988): Concise veterinary dictionary. First Edition. Blackwell Science, 896 pp.
31. Brun, J. M., Ouhayoun, J. (1988): Growth performance and carcass traits in three strains of rabbits and their two-way crosses. 4<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Budapest, Vol. 2, 168-176.
32. Buhr, R. J., Cunningham, D. L. (1994): Evaluation of molt induction to body-weight loss of 15, 20 or 25 percent by feed removal, daily limited, or alternate-day teedeing of a molt feed. *Poultry Sci.* 73, (10) 1499-1510.
33. Chambers, J. R. (1990): Development in Animal Veterinary Science, Genetics of growth and meat production in chickens. In: *Poultry Breeding and Genetics* (ed: Crawford, R. D.), Ch. 25. 599-645.
34. Choi, H. S., Haynour, D. R., Kim, Y. M. (1991): Partial volume tissue classification of multichannel magnetic-resonance images – a mixed model. *IEEE Transaction on Medical Imaging* 10, 395-407.
35. Czinder, K., Beck, K., Beregházi, A., Kanyó, Á., Kiss Cs., Mátyus, A. (2001): Bábolnai Emdeni Fehér pecsenye és húsliba teljesítményvizsgálata. Három különböző módon szelektált szubpopuláció összehasonlítása. 1. 50-56.
36. Collewet, G., Davenel, A., Bogner, P., Allen, P., Busk, H., Dobrowolski, A., Olsen, E. (2003): Results from Magnetic Resonance Imaging acquisition and analysis. EUPIGCLASS Final Meeting, Roskilde, Denmark. (CD-ROM, [www.eupigclass.org](http://www.eupigclass.org))
37. Coop, R. L., Kyriazakis, I. (1999): Nutrition-parasite interaction. *Vet. Parasitol.* 84, 187-204.
38. Cormack, A. M. (1980): Early two-dimensional reconstruction (CT scanning) and recent topics stemming from it. Nobel lecture, December 8. 1979. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 4, (5) 658-664.
39. Cote, A., Haddad, G. G. (1990): Effect of sleep on regional blood flow distribution in piglets. *Pediatr. Res.* 28, 218-22.
40. Crick, S. J., Sheppard, M. N., Ho, S. Y., Gebstein, L., Anderson, R. H. (1998): Anatomy of the pig heart: comparisons with normal human cardiac structure. *J. Anat.* 193, (1) 105-119.
41. Csengeri, I., Lengyel, P., Sándor, Zs., Györe, K., Alexis, M. (2000): Tógazdasági ponty vágóértékének szezonális alakulása. XXIV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 37-38.
42. CTPC PC alapú posztprocesszálo képfeldolgozó program. Kövér, Gy., Berényi, I. Diagnosztikai Központ, Kaposvár (1991-95)
43. Damadian, R. (1971): Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science* 171, (976) 1151-1153.
44. Darázs, S., Acél, A. (1987): Édesvízi halak feldolgozása. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 40-43.
45. Davenel, A., Seigneurin, F., Collewet, G., Remignon, H. (2000): Estimation of poultry breastmeat yield: magnetic resonance imaging as a tool to improve the positioning of ultrasonic scanners. *Meat Sci.* 56, (2) 153-158.
46. DeBlas, J. C., Torres, M. J., Fraga, E., Perez, E., Galvez, J. F. (1977): Influence of weight and age on the body composition of young doe rabbits. *J. Anim. Sci.* 45, 48-53.
47. Dobrowolski, A., Romvári, R., Davenel, A., Pascale Marty-Mache, Allen, P. (2003): Using PLS on data provide by X-ray CT, MRI and VIA. EUPIGCLASS Final Meeting, Roskilde. Denmark. (CD-ROM, [www.eupigclass.org](http://www.eupigclass.org))
48. Einen, O., Waagan, B., Thomassen, M. S. (1998): Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*): I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquacult.* 166(1-2), 85-104.
49. Emmans, G. C. (1989): Growth and body composition. In: *Recent advances in turkey science*. (eds. Nixey, C., Grey, T. G.) Poultry Science Symposium No 21. Butterworths, London, 135-166.
50. Emmans, G. C. (1997): A method to predict the food intake of domestic animals from birth to maturity as a function of time. *J. Theor. Biol.* 186, 189-199.
51. Emmans, G. C., Fisher, C. (1986): Problems in nutritional theory. In: *Nutrient requirements of poultry and nutritional research*. (eds. Fisher, C., Boorman, K. N.) Butterworths, London, 9-39.
52. Emmans, G. C., Kyriazakis, I. (1999): Growth and body composition. In: *A Quantitative Biology of the Pig*. (ed. Kyriazakis I.) CAB International, Wallingford, Oxon, 181-197.
53. Emmans, G. C., Kyriazakis, I. (2000): Issues arising from genetic selection for growth and body composition characteristics in poultry and pigs. *Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Sci.* 27, 39-52.
54. Ender, K., Nurnberg, K., Wegner, J., Seregi, J. (2002): Laboratory investigations of Mangalitza meat and fat. *Fleischwirtschaft* 82, 125-128.
55. Fauconneau, B., Alami-Durante, H., Laroche, Marcel, J., Vallot, D. (1995): Growth and meat quality relations in carp. *Aquaculture* 129, 265-297.
56. Fehér, Gy. (1980): A háziállatok funkcionális anatómiája. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
57. Fekete, S., Hullár, I., Andrásföszky, E., Bersényi, A. (1996): Study of the body composition of growing rabbits. 6<sup>th</sup> World Rabbit Cong., Toulouse, Vol 1. 159-162.
58. Fekete, S., Hullár, I., Romvári, R., Andrásföszky Emese, Szendrő, Zs. (1994): A nyúl vemhességének komplex vizsgálata. 4. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, 86-95.

59. Ferguson, N. S., Gous, R. M., Emmans, G. C. (1994): Preferred components for the construction of a new simulation model of growth, feed intake and nutrient requirements of growing pigs. *South Afr. J. Anim. Sci.* 24, 10-17.
60. Ferreira, R. G., Carregal, R.D., Resende, K.T. (1996): Net energy, protein and macromineral requirement for 70 to 120 day old female rabbits. 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Toulouse (France), Vol. 1. 171-174.
61. Fowler, P. A., Fuller, M. F., Glasbey, C. A., Cameron, G. G., Foster, M. A. (1992): Validation of the in vivo measurement of adipose tissue by magnetic resonance imaging of lean and obese pigs. *Am. J. Clin. Nutr.* 56, (1) 7-13.
62. Fraga, M. J., De Blas, J. C., Pérez, E., Rodríguez, J.M., Pérez, C. J., Galvez, J. F. (1983): Effect of diet on chemical composition of rabbits slaughtered at fix body weights. *J. Anim. Sci.* 56, 1097-1104.
63. Fraga, M. J., Torres, A., Perez, E., Galvez, J. F., DeBlas, J. C. (1978): Body composition in suckling rabbits. *J. Anim. Sci.* 47, 166-175.
64. Fuller, M. F., Foster, M. A., Hutchison, J. M. S. (1984): Nuclear magnetic resonance imaging. In: *In vivo measurement of body composition in meat animals*, Elsevier Applied Science Publishers, London, 123-133.
65. Geers, R., Parduyns, G., Goedseels, V., Bosschaerts, L., De-Ley, J. J. (1990): Skeletal muscularity and heart function in growing piglets. *Ann. Rech. Vet.* 21, (3) 231-236.
66. Gildersleeve, R. P., Satterlee, D. G., Johnson, W. A., Scott, T. R. (1983): The effects of forced molt treatment on blood biochemicals in hens. *Poultry Sci.* 62, (5) 755-762.
67. Gjerde, B. (1987): Predicting carcass composition of rainbow trout by computerised tomography. *J. Anim. Breed. Genet.* 104, 121-136.
68. Glasbey, C. A., Robinson, C. D. (2002): Estimators of tissue proportions from X-ray CT images. *Biometrics* 58, 928-936.
69. Grey, T. C., Robinson, D., Jones, J. M. (1982): Effect of age and sex on the eviscerated yield, muscle and edible offal of a commercial broiler strain. *Br. Poultry Sci.* 23, 289-298.
70. Grier, S. J., Turner, A. S., Alvis, M. R. (1996): The use of dual-energy X-ray absorptiometry in animals. *Invest. Radiol.* 31, 50-62.
71. Grubb, B. R. (1982): Cardiac output and stroke volumen in exercising ducks and pigeons. *J. Appl. Physiol.* 53, 207-211.
72. Guy, G. (2000): Physiological terms of quality liver production. 3rd International Poultry Breeding Symposium, Kaposvár, Proceeding, 51-67.
73. Haley, C. S., Archibald, A. L. (2003): Prospects in pig genetics. In: *Perspectives in Pig Science*. (eds. Wiseman, J., Varley, M. A., Kemp, B.) Nottingham Univ. Press, Nottingham, 41-65.
74. Hancock, C. E., Bradford, G. C., Emmans, G. C., Gous, R. M. (1995): The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. *Br. Polutry Sci.* 36, 247-264.
75. Hancz, Cs., Romvári, R., Petrás, Zs., Horn, P. (2003): Prediction of some Carcass quality traits of common carp by X-ray computerised tomography. *Isr. J. Aquacult.-Bamid.* 55, (1) 61-68.
76. Hancz, Cs., Stettner, G., Demeterné Péder, T. (2002): A magyar pontyfajták növekedésének, takarmányértékesítésének, testalakulásának és zsírtartalmának összefüggései. XXVI. Halászati Tudományos Tanácskozás. Szarvas, 47-48.
77. Hartmann, W. (1988): From Mendel to multi-national in poultry breeding. *Poultry Sci.* 29, 3-26.
78. Havenstein, G. B., Ferkert, P. R. (2002): Estimated genetic changes in broiler growth, feed conversion and yield, 1991-2001. 11<sup>th</sup> European Poultry Conference, Bremen, CD-ROM
79. Havenstein, G. B., Ferkert, P. R., Scheideler, S. E., Rives, D. V. (1994): Carcass composition and yield of 1957 vs 1991 broilers when fed „tipical” 1957 and 1991 broilers diets. *Poultry Sci.*, 73, (12) 1795-1804.
80. Havenstein, G. B., Toelle, V. D., Nestor, K. E., Bacon, W. L. (1988): Estimates of genetic parameters in turkeys. 2. Body weight and carcass characteristics. *Poultry Sci.* 67, 1388-1399.
81. Hermier, D., Saadoun, A., Salichon, M. R., Sellier, N., Rousselot-Paillet, D., Chapman, M. J. (1991): Plasma lipoproteins and liver lipids in two breeds of geese with different susceptibility to hepatic steatosis: changes induced by development and force-feeding. *Lipids* 26, (5) 331-339.
82. Hevessy, G., Von Hofer, E. (1934): Diplogen in fish. *Nature* 133, 797-798.
83. Histocat 2.2 Adatfeldolgozó program. Závoda, F., Romvári R. Diagnosztikai Intézet, Kaposvár (1998)
84. Holló, G. (2001): A szarvasmarha vágóértékének és testösszetételének becslése digitális képalkotó eszközök (CT, MR) alkalmazásával. Doktori (PhD) értekezés, 122 pp.
85. Holló, G., Romvári, R., Horn, P., Repa, I., Tózsér, J., Csapó, J., Szűcs, E., Holló I. (1999): Measurement of the chemical composition of rib samples from beef carcasses by X-ray computer tomography and direct chemical analysis. 45<sup>th</sup> ICoMST, Yokohama, 2-P19.
86. Holló, G., Tózsér, J., Szűcs, E., Romvári, R., Repa, I. (2001): A szarvasmarha becslése a vágott testből vett minta alapján. *Állattenyésztés és Takarmányozás* 50, (2) 115-124.
87. Horn, P. (1986): Eljárás állatok, főleg sertések továbbtenyésztéshez való kiválogatására. Szolgálati tálmány. Szabadalmi lajstromszám: 198600 A. Országos Találmányi Hivatal.

88. Horn, P. (1991a): Az in vivo testanalízis újabb lehetőségei a húshasznosítású állatfajok nemesítésében, különös tekintettel a röntgen komputeres tomográfia (RTC) alkalmazására. Magyar Állatorvosok Lapja 46, (3) 133-137.
89. Horn, P. (1991b): A röntgen komputeres tomográfia (RCT) alapelvei és a gyakorlati alkalmazás feltételei az állattenyésztésben. Állattenyésztés és Takarmányozás 40, (1) 61-68.
90. Horn, P., Sugár, L., Pászthy, Gy., Berényi, E. (1992): X-Ray computerized tomography to measure body composition in vivo of red deer. 3. Int. Wildlife Ranching Symp. X. Pretoria, South Africa
91. Horn, P., Kövér, Gy., Repa, I., Berényi, E., Kovách, G. (1997): The use of spiral CAT for volumetric estimation of body composition of pigs. Arch. Tierzucht 40, (5) 445-450.
92. Horn, P. (1998): Cross-sectional CT and MR anatomy atlas of red deer. (Contributors: Bajzik, G., Berényi, E., Biró, S., Bogner, P., Petrás, Zs., Repa, I., Romvári, R., Sugár, L., Takács, I., Tornyos, G.) Modell-Print Bt., Budapest. 139 pp.
93. Horn, P., Sütő, Z., (2000): Teljesítményváltozások a tyúk fajban. A Baromfi, 3, (1) 8-13.
94. Horn, P., Sütő, Z., Kustosné Pöcze, O., Gyenis, J., Mihók, S. (2000): Genetikai és takarmányozási tényezők hatása a pulyka hústermelőképességére. III. Nemzetközi Baromfitenyésztési Szimpózium, Kaposvár, 1-19.
95. Hounsfield, G. N. (1980): Computed medical imaging. Nobel Lecture, Dec. 8, 1979. J. Computer Assisted Tomography 4, 665-674.
96. Huang, S. Y., Lin, J. H., Lin, E. C., Yang, P. C., Tsou, H. L. (2001): Effects of birth season, breed, sex and sire family on cardiac morphology determined in pigs (*Sus scrofa domestica*) by use of echocardiography. Comp. Med. 51, 545-549.
97. Hulsegge, B., Sterrenburg, P., Merkus, G. S. M. (1994): Prediction of lean meat proportion in pig carcasses and in the major cuts from multiple measurements made with the Hennessy Grading Probe. Anim. Prod. 59, (1) 119-123.
98. Hunsaker, W. G. (1971): Round heart disease in four commercial strains of turkeys. Poultry Sci. 50, 1720-1724.
99. Ischler, G. A., Swieger, L. A., (1968): Ultrasonic prediction of lean cut percent in swine. J. Anim. Sci. 27, 377-382.
100. Jensen, J. F. (1983): Method of dissection of broiler carcasses and description of parts. Papworth's Pendragon Press, Cambridge
101. Johnson, D. D., Savell, J. W., Smith, G. C., Weatherspoon, L. (1984): Prediction of pork belly composition using various measurements of the carcass or belly. J. Anim. Sci. 58, (3) 611-618.
102. Jones, H. E., Lewis, R. M., Young, M. J., Simm, G. (2002): Incorporating CT measures of composition and muscularity into selection programs for Suffolk sheep. Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, Session 2. 1-4.
103. Jones, H. E., Lewis, R. M., Young, M. J., Wolf, B. T. (2002): The use of X-ray computer tomography for measuring the muscularity of live sheep. Anim. Sci. 75, (3) 387-399.
104. Jones, S.D.M. 1995. Future directions in carcass assessment. 215-228. In Quality and grading of carcasses of meat animals. Ed. Jones, S.D.M. CRC Press: Boca Raton.
105. Jopson, N. B., McEwan, J. C., Fennessy, P. F., Dodds, K. G., Nicoll, G. B., Wade, C. M. (1997): Economic benefits of including computed tomography measurements in a large terminal sire breeding programme. Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics. Proc. 12<sup>th</sup> Conference, Dubbo, NSW, Australia, April 6-10. Part 1. 72-76.
106. Jopson, N. B., Thompson, J. M., Fennessy, P. F. (1992): Body compositional changes during fasting periods in fallow deer bucks. Department of Animal Science, University of New England Armidale NSW, Australia
107. Junkuszew, A., Ringdorfer, F. (2005): Computer tomography and ultrasound measurement as methods for the prediction of the composition of lambs. Small Ruminant Res. 56 121-125.
108. Kallweit, E., Wesemeier, H. H., Smidt, D., Baulain, U. (1994): Application of magnetic resonance measurements in animal research. Arch. Tierzucht 37, (2) 105-120.
109. Kamphues, J. (1985): Untersuchungen zum Energie- und Nährstoffbedarf gravider Kaninchen. Züchtungskunde 57, 207-222.
110. Keshavarz, K., Quimby, F. W. (2002): An investigation of different molting techniques with an emphasis on animal welfare. J. Appl. Poultry Res. 11, (1) 54-67.
111. Knap, P. W., Luiting, P. (1999): Selection limits and fitness constraints in pigs. In Abstracts of the 50<sup>th</sup> Annual meeting of the EAAP. Zurich, Wageningen Pers, Wageningen. P. 53.
112. Kolstad, K. (1996): Maintenance requirements in pigs: a breed comparison including body composition study. PhD Thesis, Institut for Husdyrfag, Norges Landbrukshoyskole, 21 pp.
113. Kolstad, K., Brenoe, U. T., Vangen, O. (2002): Genetic differences in energy partitioning in growing pigs. Acta Agriculturae Scandinavica. Section A, Anim. Sci. 52, (4) 213-220.
114. Kolstad, K., Jopson, N. B., Vangen, O. (1996): Breed and sex differences in fat distribution and mobilization in growing pigs fed at maintenance. Livest. Prod. Sci. 47, (1) 33-41.

115. Kolstad, K., Vegusdal, A., Baeverfjord, G., Einen, O. (2004): Quantification of fat distribution in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) using computerised X-ray tomography (CT). *Aquaculture* 229, (1-4) 255-264.
116. Kostov, Y., Egbelo, M. (1996): Electrocardiographic studies in sows under conditions of chronic stress. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2, (5) 647-653.
117. Kövér, Gy., Horn, P., Kovách, G., Pászthy, Gy. (1993): Computer tomográfiával nyert adatok és a vágóérték adatok összefüggése sertésekben. *Kaposvári Állattenyésztési Napok* 93: 76-83.
118. Kuznetsova, T., Staessen, J. A., Olszanecka, A., Ryabikov, A., Stolarz, K., Malyutina, S., Fagar, R., Kawecka-Jaszcz, K., Nikitin, Y. (2003): Maternal and paternal influences on left ventricular mass of offspring. *Hypertension* 41, 69-74.
119. Lasser, G. T., Perle, W., Steele, J. M. (1952): Measurement of total body fat in living rats by absorption of cyclopropane. *Am. J. Physiol.* 169, 545-553.
120. Leenstra, F. R., Vereijken, P. F. G., Pit, R. (1986): Fat deposition in a broiler sire strain. I Phenotypic and genetic variation in and correlations between abdominal fat, body weight and feed conversion. *Poultry Sci.* 65, 1225-1235.
121. Leeson, S., Summers, J. D. (1980): Production and carcass characteristics of the broiler chicken. *Poultry Sci.* 59, 768-798.
122. Lengyel, A., Pászty, Gy., Horn, P. (1992): In vivo prediction of lamb carcass composition by computerised tomography. *Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of the EAAP, Madrid*, 376-377.
123. Lengyel, P., Sándor, Zs., Györe, K., Szabó, P., Pekár, F., Zubcova, E., Alexis, M. N., Csengeri, I. (2001): A ponty és néhány más hazai pontyfélé test-összetételének alakulása a takarmányozással összefüggésben. *XXV. Halászati Tudományos Tanácskozás*. 39-40.
124. Lewis, R. M., Simm, G. (2002): Small ruminant breeding programmes for meat: progress and prospects. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, August, Session 2. 2002*, 1-8.
125. Lilburn, M. S., Nestor, K. E. (1991): Body weight and carcass development in different lines of turkeys. *Poultry Sci.* 70, 2223-2231.
126. Liu, Y. J., Stouffer, J. R. (1995): Pork carcass evaluation with an automated and computerized ultrasonic system. *J. Anim. Sci.* 73 (1) 29-38.
127. Lubritz, D. L. (1997): A statistical model for white meat yield in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 6, (3) 253-259.
128. Luiting, P., Enting, H., Vangen, O. (1992): Breed differences in maintenance requirements in pigs measured by computerized tomography. Paper, Genetics Commission, EAAP., Madrid.
129. Luiting, P., Kolstad, K., Enting, H., Vangen, O. (1995): Pig breed comparison for body composition at maintenance: analysis of computerized tomography data by mixture distributions. *Livestock Production Science* 43, (3) 225-234.
130. Maertens, L., De Groote, G. (1992): Study of influence of slaughter weight on carcass yield and carcass composition of broiler rabbits. *Rev. Agric.* 45, (1) 59-70.
131. Maertens, L., Cavanni, C., Petracci, M. (2004): 8th World Rabbit Congress, Puebla, 902-908.
132. Magyar, T., Kovács, F., Donkó, T., Bíró, H., Romvári, R., Kovács M., Repa I. (2003): Turbinate atrophy evaluation in pigs by computed tomography. *Acta Vet Hung.* 51, (4) 485-491.
133. Marcoux, M., Bernier, J. F., Pomar, C. (2003): Estimation of Canadian and European lean yields and composition of pig carcasses by dual-energy X-ray absorptiometry. *Meat Sci.* 63 (3) 359-365.
134. Martinez, L. L. A., Miller, M. W., Jeffrey, J. S., Odom, T. W. (1998): Echocardiographic evaluation of cardiac structure and function in broiler and Leghorn chickens. *Poultry Sci.* 77, (7) 1045-1050.
135. Maruyama, K., Kanemaki, N. (1991): Myosin isoform expression in skeletal muscles of turkeys at various ages. *Poultry Sci.* 70, (8) 1748-1757.
136. Masoero, G., Riccioni, L., Bergoglio, G., Napolitano, F. (1992): Implications of fasting and transport for a high quality rabbit meat product. 5<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Corvallis, Proc. B, 841-874.
137. MASS 4.0 MR Analysis Software System (MASS) version 4.0, Leiden University Medical Center and MEDIS medical imaging systems, (1994-2000)
138. McKay, J. C., Barton, N. F., Koehuis, A. N. M., McAdam, J. (2000): The challenge of genetic change in the broiler chicken. In: *The challenge of genetic change in animal production*. (eds. Hill, W. G., Bishop, S. C., McGuirk, M., McKay, J. C., Simm, G., Webb, A. J.) British Society of Animal Science, Edinburgh, Occasional Publication No. 27, 1-7.
139. Medimage CT-MR képfeldolgozó program. Závoda, F. Diagnosztikai Intézet, Kaposvár (2000)
140. Merks, J. W. H. (2000): One century of genetic change in pigs and the future needs. In: *The challenge of genetic change in animal production*. (eds. Hill, W. G., Bishop, S. C., McKay, J. C., Webb, A. J.) British Society of Animal Science, Edinburgh, Occasional Publication No. 27.
141. Meyns, B. P., Nishimura, Y., Jasheri, R., Racz, R., Leunens, V. H., Flameng, W. J. (2000): Ascending versus descending aortic balloon pumping: organ and myocardial perfusion during ischemia. *Ann. Thorac. Surg.* 70, 1264-1269.

142. Mezőszentgyörgyi, D. (2000): Különböző genotípusú juhok izom- és faggyúbeépülésének vizsgálata komputeres tomográfia segítségével. Doktori (PhD) értekezés, 153 pp.
143. Miklósné, Horváth E. (2001): Ha húslúd legyen izmos. Baromfiágazat. 1. 57-59.
144. Milisits, G. (1998): Növendék- és anyanyulak testösszetétel változásának vizsgálata komputer tomográfia és TOBEC módszerrel. PhD értekezés, Kaposvár, 126 pp.
145. Milisits, G., Romvári, R., Szendrő, Zs., Gyarmati, T. (1997): Determination of body composition of pregnant does by X-ray computerised tomography and TOBEC method. 9. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, 46-53.
146. Mitchell, A. D., Scholz, A., Pursel, V. (2002): Prediction of the in vivo body composition of pigs based on cross sectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans. Arch. Tierzucht 45, (6) 535-545.
147. Mitchell, A. D., Wang, P. C., Rosebrough, R. W., Elsasser, T. H., Schmidt, W. F. (1991): Assessment of body composition of poultry by nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. Poultry Sci. 70, (12) 2494-2500.
148. Mitchell, A.D.; Rosebrough, R.W.; Conway, J.M.. (1997): Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. Poultry Sci. 76: 1746-1752.
149. Moran, E. T. (1995): Body composition. In: Poultry Production. (ed.: Hunton, P.) World Animal Sci. C. Elsevier, Amsterdam, 139-156.
150. Mourot, J., Guy, G., Lagarrigue, S., Peiniau, P., Hermier, D. (2000): Role of hepatic lipogenesis in the susceptibility to fatty liver in the goose (*Anser anser*). Comp. Biochem. Physiol B. 126, (1) 81-87.
151. MRPC PC alapú posztprocesszálo képfeldolgozó program. Kövér, Gy., Berényi, I. Diagnosztikai Központ, Kaposvár, (1991-95)
152. Müller, T., Molnár, T., Szabó, A., Romvári, R., Hancz, Cs., Bercsényi, M., Horn P. (2004): Tracking the hormonally-induced female eel maturation by means of computer tomography. Acta Vet. Hung. 52, (2) 235-243.
153. Müller, T., Romvári, R., Bercsényi, M., Hancz, Cs, Molnár, T., Szabó, A., Repa, I., Horn P. (2004): Following the artificially induced eel maturation process by means of in vivo CT scanning. JWAS 35, (2) 217-224.
154. Nagy, I., Szendrő, Zs., Romvári, R., Metzger, Sz., Horn, P. (2004): CT-re alapozott szelekció eredményességének vizsgálata. 16. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, május 26. 109-112.
155. Nazligul, A., Poyraz, O., Deliomeroğlu, Y., Bayraktar, M., Iscan, K. (1993): The effect of sex and carcass weight on abdominal fat in broilers. Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi 33, (3-4) 80-87.
156. Nestor, K. (1982): The influence of genetic increases in body weight on the abdominal fat pad of turkeys. Poultry Sci. 61, 2301-2304.
157. Nestor, K., Anderson, J. W., Velleman, S. G. (2001): Genetic variation in pure lines and crosses of large-bodied turkey lines. 2. Carcass traits and body shape. Poultry Sci. 80, 1093-1104.
158. Neubert, E., Huppke, S., Grundel, G. (1999): Determination of beta-adrenoceptors in myocardium of different strains of chickens - a study for clarification of the frequent occurrence of sudden death syndrome and ascites in male broiler chickens. Berl. Münch. Tierarz. Wochenschr. 112, (5) 180-185.
159. Niedzwiedz, S. (1980): Using regression equations to determine the meat, bone and fat content of White New Zealand rabbit carcasses. 3th World Rabbit Congress, Rome, Vol. II, 585-594.
160. Nott, K. P., Evans, S. D., Hall, L. D. (1999): The effect of freeze-thawing on the magnetic resonance imaging parameters of cod and mackerel. Food Sci. Tech. Int. 32, 261-268.
161. Olkowski, A. A., Classen, H. L. (1998): High incidence of cardiac arrhythmias in broiler chickens. J. Vet. Med. A. 45, (2) 83-91.
162. Osiris 4.18. Medical Image Analysis Software. University Hospital of Geneva, Switzerland (2004)
163. Ouhayoun, J. (1978): Etude comparative de races de lapins différant par le poids adulte. Theses, Academie de Montpellier
164. Ouhayoun, J. (1983): La croissance et le développement du lapin de chair. Cuni Sci., 1, (1) 1-15.
165. Ouhayoun, J. (1984): Croissance et qualités bouchères du lapin. Cuniculture. 58: 181-188.
166. Parigi Bini, R. (1988): Recent developments and future goals in research on nutrition of intensively reared rabbits. Proc. 4<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Budapest, 3, 1-29.
167. Parigi Bini, R., Xiccato, G., Cinetto, M. (1990): Energy and protein retention and partition in pregnant and non-pregnant rabbit does during the first pregnancy. Cuni Sci. 6, 19-29.
168. Parigi Bini, R., Xiccato, G., Cinetto, M., Dalle Zotte, A. (1992): Energy and protein utilisation and partition in rabbit does concurrently pregnant and lactating. Anim. Prod. 55, 153-162.
169. Parigi Bini, R., Xiccato, G., Dalle Zotte, A., Carazzolo, A., Castellini, C., Stradaoli, G. (1996): Effect of remating interval and diet on the performance and energy balance of rabbit does. 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Toulouse, 1, 253-258.
170. Parigi Bini, R., Xiccato, G., Cinetto, M., Dalle Zotte, A.. (1991): Efficienza digestiva e ritenzione energetica e proteica dei coniglietti durante l'allattamento e la svezzamento. Zoo. Nutr. Anim., 17. 167-180.



171. Parker, G. W., Michael, L. H., Entman, M. L. (1987): An animal model to examine the response to environmental stress as a factor in sudden cardiac death. *Am. J. Cardiol.* 60, (18) 9-14.
172. Pászthy, G., Lengyel, A., Horn, P. (1991): Comparing breeds and fattening methods by computer tomography on live sheep. 42nd. Ann. Meet. EAAP., Berlin, 255-266.
173. Pászty, Gy. (2000): In vivo testanalízis felhasználása a juhtenyésztésben. Doktori (PhD) értekezés, Kaposvár
174. Pearson, K. (1897): Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in measurements of organs. *Proc. of the Royal Society of London* 60, 489-498.
175. Perényi, M., Sütő, Z., Ujváriné, J. (1980): Changes in the proportion of the carcass parts of male and female heavy type turkeys between 4 and 20 weeks of age. *Zootech. Int.* 5, 39-40.
176. Petrás, Zs., Romvári, R., Bajzik, G., Fenyves, B., Repa, I., Horn, P. (2001): ECG-gated dynamic magnetic resonance imaging method for examination of the pig heart. *Acta Vet. Hung.* 49, (3) 275-284.
177. Pfeiffer, H., Brendel, B., Vonlengerken, G. (1993): Evaluation of the quality of belly by pig. *Arch. Tierzucht* 36, (3-4) 397-407.
178. Pfuhl, K., Glodek, P. (1996): Estimation of the steakfat-content of the belly with the NIR-method and its relations to other fat criteria of pig carcasses. *Züchtungskunde* 68, (1) 48-64.
179. Ponty Teljesítményvizsgálati Kódex, OMMI, 2001
180. Prehn, D. (1996) Contribution à l'étude du bien-être du canard (*Cairina moschata* x *Anas platyrhynchos*) en gavage: études biométriques, cliniques, histologiques et fonctionnelles. *Welfare Aspects of the Production of Foie Gras in Ducks and Geese. Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW).*
181. Prud'hon, M., Selme, M. (1973): Croissance ponderale des foetus et des placentas maternels et foetaux au cours de la gestation chez les lapines saillies post partum et chez des lapines temoins. *Journées de recherches avicoles et cunicoles. Publication de L'I.T.A.V.I.* 51-54.
182. Purcell, E. M., Torrey, R. V., Pound, R. V. (1946): Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Phys. Rev.* 69, 37-43.
183. Pym, R. A. E., Thompson, J. M. (1980): A simple calliper technique for the estimation of the abdominal fat in live broilers. *Br. Poultry Sci.* 21, 281-287.
184. Rance, K. E., McEntee, G. M., McDevitt, R. M. (2002): Genetic and phenotypic relationship between and within support and demand tissues in a single line of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 43, 518-27.
185. Rauw, W. M., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E. N., Grommers, F. J. (1998): Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest. Prod. Sci.* 56, 15-33.
186. Rede, R., Pribisch, V., Rahelic, S. (1986): Carcass and meat quality of primitive and highly selected pig breeds. *Fleischwirtschaft* 66, 898-900.
187. Rémignon, H., Seigneurin, F., Resrosiers, V. (1997): Measuring breast meat in live broilers with tomography. *World Poultry*, 14 (5) 24.
188. Renk, W. (1951): Zur Kernkettenbildung in den Herzmuskelfasern und zur Hypertrophie des Herzens beim Schwein. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 58, 385-387.
189. Repa, I., Berényi, E., Romvári, R., Sugár, L., Bajzik, G., Horn, P., Takács, L., Petrás, Zs., Tornóyos, G., Nagy, J. (1999): Non-invasive cross-sectional dynamic study (CT and MRI) of red deer. In: *Advances in Deer Biology.* (ed. Zomborszky, Z.) 341-342.
190. Richardson, R. S., Harms, C. A., Grassi, B., Hepple, R. T. (1999): Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system? *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 88-93.
191. Ringer, R. K., Sturkie, P. D., Weiss, H. S. (1957): Heart rate of chickens as influenced by age and gonadal hormones. *Am. J. Physiol.* 191, 145-147.
192. Ritman, E. L. (1998): Temporospacial heterogeneity of myocardial perfusion and blood volume in the porcine heart wall. *Ann. Biomed. Eng.* 26, (4) 519-525.
193. Roberson, K.D., Rahn, A.P., Balander, R.J., Orth, M.W., Smith, D.M., Booren, B.L., Booren, A.M., Osburn, W.N., Fulton, R.M. (2003): Evaluation of the growth potential, carcass components and meat quality characteristics of three commercial strains of tom turkeys. *Appl. Poultry Res.* 12, (2) 229-236.
194. Roberts, N., Cruz-Orive, L. M., Reid, N. M., Brodie, D. A., Bourne, M., Edwards, R. H. (1993): Unbiased estimation of human body composition by the Cavalieri method using magnetic resonance imaging. *J. Microsc. Pt 3*, 239-253.
195. Rolon, A., Buhr, R. J., Cunningham, D. L. (1993): 24 hour feed withdrawal and limited feeding as alternative methods for induction of molt in laying hens. *Poultry Sci.* 72, (5) 776-785.
196. Romvári, R. (1996d): A komputer tomográfia lehetőségei a húsnyúl és a brojlercsirke testösszetételének és vágóértékének in vivo becslésében. PhD értekezés, Kaposvár, pp. 121.
197. Romvári, R., Milisits, G., Szendrő, Zs., Horn, P. (1996a): Measurement of the total body fat content of growing rabbits by X-ray computerised tomography and direct chemical analysis. *Acta Vet. Hung.* 44, (2) 145-151.
198. Romvári, R., Milisits, G., Szendrő, Zs., Sørensen, P. (1996b): Non invasive method to study the body composition of rabbits by X-ray computerised tomography. *World Rabbit Sci.* 4, (4) 219-224.

199. Romvári, R., Perényi, M., Horn, P. (1994): In vivo measurement of total body fat content of broiler chickens by X-ray computerised tomography. *Znan. Prak. Poljopr. Tehnol.* 24, (1) 215-220.
200. Romvári, R., Sugár, L., Tornyos, G., Bajzik, G., Horn, P., Takács, I., Petrás, Zs., Nagy, J., Repa, I. (1999): Non-invasive body composition measurement in red deer by MRI tomography. In: *Advances in Deer Biology*. (ed. Zomborszky, Z.) 98-100.
201. Romvári, R., Szendrő, Zs., Horn, P. (1996c): Studies of the growth of rabbits by X-ray computerised tomography. *Acta Vet. Hung.* 44, (2) 135-144.
202. Romvári, R., Szendrő, Zs., Radnai, I., Biró-Németh, E. (1995): The effect of the selection based on computer tomography on the carcass traits of Pannon White growing rabbits. *Kmetijstvo. Supp.* 22, 253-259.
203. Rühl, B. (1971): Gewichte, Faserdicken und Kernzahlen des Herzmuskels und deren Beziehungen zu Körpergewicht und Skelettmuskelmasse bei 205 Tage alten, 5 Rassen zugehörigen Schweinen. *Zbl. Vet. Med. A.* 18, 151-173.
204. Ruszler, P. L. (1998): Health and husbandry considerations of induced molting. *Poultry Sci.* 77, (12) 1789-1793.
205. Rye, M. (1991): Prediction of carcass composition in Atlantic salmon by computerized tomography. *Aquaculture* 99, 35-48.
206. Sahu, B. B., Meher, P. K., Mohanty, S., Reddy, P. V. G. K., Ayyappan, S. (2000): Evaluation of the Carcass and Commercial Characteristics of Carps. *NAGA. The ICLARM Quarterly* 23, (2) 10-14.
207. Salomon, S. V., Kurnoth, T., Sager, G., Gille, U. (1990): Die Kapillarisation des M. Pectoralis der Pute (*Meleagris gallopavo*) vom Schlupf bis zum 280. Lebenstag. *Anat. Histol. Embryol.* 19, 143-153.
208. Sanches, A., Plouzeau, M., Rault, P., Picard, M. (2000): Muscular growth and cardio-respiratory function in broiler chickens. *Prod. Anim.* 13, 37-45.
209. Savory, C. J. (2002): Effects of long-term selection for broiler traits. 11. European Poultry Conference, Bremen, All abstracts with the full paper included CD of the 11<sup>th</sup> EPC
210. SCAHAW (The Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare) (1998): Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare on Welfare Aspects of the Production of Foie Gras in Ducks and Geese [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scaw/out17\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scaw/out17_en.html)
211. Scheele, C. W. (1997): Pathological changes in metabolism of poultry related to increasing production levels. *Vet. Q.* 19, 127-130.
212. Scheper, J., Scholz, W. (1985): DLG Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf. Arbeitsunterlagen DLG, Frankfurt/M.
213. Schinckel A. P., Mills S. E., Weber T. E. and Eggert J. M. (2002): A Review of Genetic and Nutritional Factors Affecting Fat Quality and Belly Firmness. *Records of Proceedings of National Swine Improvement Federation, Conference and Annual Meeting*, Vol. 27., Nashville
214. Schrenkenbach, K., Knösche, R., Ebert, K. (2001): Nutrient content of freshwater fishes. *J. Appl. Ichthyol.* 17, 142-144.
215. Schwerdtfeger, R., Krieter, J., Kalm, E. (1993): Objective measurement of bellies. *Fleischwirtschaft* 73 (1) 93-96.
216. Scollan, N. D., Caston, L. J., Liu, Z., Zubair, A. K., Leeson, S., McBride, B.W. (1998): Nuclear magnetic resonance imaging as a tool to estimate the mass of the pectoralis muscle of chickens in vivo. *British Poultry Sci.* 39, (2) 221-224.
217. Segers, P., Steendijk, P., Stergiopulos, N., Westerhof, N., (2001): Predicting systolic and diastolic aortic blood pressure and stroke volume in the intact sheep. *J. Biomech.* 34, 41-50.
218. Sehested, E. (1986): In vivo prediction of lamb carcass composition by computerized tomography. PhD Thesis, Dept. of Animal Science, Agricultural University of Norway, 81 pp.
219. Sehested, E., Vangen, O. (1988): Computer tomography, a nondestructive method of carcass evaluation. Paper, VI. World Conference of carcass evaluation, Helsinki, 8 pp.
220. Shapiro, F., Nir, I., Heller, D. (1998): Stunting syndrome in broilers: effect of stunting syndrome inoculum obtained from stunting syndrome affected broilers, on broilers, Leghorns and turkey poults. *Poultry Sci.* 77, (2) 230-236.
221. Siegel, P. B., Dunnington, E. A. (1987): Selection for growth in chickens. *CRC Crit. Rev. Poultry Biol.* 1, 1-24.
222. Simm, G. (1987): Carcass evaluation in sheep breeding programmes. A review. *New Techniques in sheep production*. London, Butterworths, 125-144.
223. Simm, G., Avalos, E., Dingwall, W. S., King, J. W. B., Parratt, A. C., Owen, M. G., Cuthbertson, A. (1985): Selection for improved lean meat production in Suffolk sheep: performance test regime and use of ultrasonic and X-ray computed tomography. *British Society of Animal Production. Winter Meeting, Scarborough, Paper No.* 35, 2.
224. Skjervold, H., Grønseth, K., Vangen, O., Evensen, A. (1981): In vivo estimation of body composition by computerized tomography. *Z. Tierzücht. Züchtbiol.* 98, 77-79.
225. Sørensen, M. T. (1992): In vivo prediction of goat body composition by computer tomography. *Anim. Prod.* 54, (1) 67-73.

226. Sørensen, P., Ducro, J. B. (1995): Age related and proportional aspects of growth in broilers. Arch. Geflügelkd. Sonderheft. 30-34.
227. Speakman, J. R. ed. (2001): Body Composition Analysis of Animals. A Handbook of Non-Destructive Methods. Cambridge University Press 242 pp.
228. Spörri, H. (1954): Warum ist das Schwein für den Herztod prädisponiert? Zbl. Vet. Med. 1, 799-809.
229. SPSS® for Windows™ 1999. Version 10.0, Copyright SPSS Inc. Chicago, IL.
230. Stanford, K., Jones, S. D. M., Price, M. A. (1998): Methods of predicting lamb carcass composition: a review. Small Rumin. Res. 29, (3) 241-254.
231. Storlien, H., Sehested, E. (1992): Slakteegenskaper i avlsarbeidet på svin (Slaughter traits in pigs). Norsvinreport no. 1/92, Hamar, Norway. 37 pp.
232. Streitz, E., Baulain, U., Kallweit, E. (1995): Investigation on body composition of growing lambs by means of magnetic resonance imaging (MRI). Züchtungskunde 67, (5) 392-403.
233. Summers, J. D., Spratt, D. (1991): Weight-gain, carcass yield, and composition of large white male turkeys reared to 28 weeks of age on growing and finishing diets with varying levels of dietary-protein. Poultry Sci. 69, (4) 584-591.
234. Suneel, L., Singh, R. V., Singh, B. P., Malik, S., Singh, S. (1998): Inheritance of growth and conformation traits in broiler chickens. Indian J. Poultry Sci. 33, (1) 74-76.
235. Sütő, Z., Horn, P., Jensen, J. F., Sørensen, P., Csapó, J. (1998): Carcass traits, abdominal fat deposition and chemical composition of commercial meat type chicken during a twenty week growing period. Arch. Geflügelk. 62 (1) 21-25.
236. Sütő, Z., Horn, P., Kustosné Pócze, O., Herendy, V., Gyenis, J., Mihók, S. (2001): Effect of genetic and nutrition conditions on the meat production of turkeys. (in Hungarian) Baromfiágazat 1, 28-34.
237. Sütő, Z., Horn, P., Sørensen, P., Csapó, J. (1998): Carcass traits, abdominal fat deposition and chemical composition of commercial meat type chicken during a twenty-week growing period. Arch. Geflügelk. 62, 21-25.
238. Svihus, B., Kettle, J. (1993): Computerised tomography as a tool to predict composition traits in broilers. Comparisons of results across samples and years. Acta Agriculturae Scandinavia, Section A, Anim. Sci. 43, (4) 214-218.
239. Swan, J. E., Parrish, F. C., Wiegand, B. R., Larsen, S. T., Baas, T. J. and Berg, E. P. (2001): Total body electrical conductivity (TOBEC) measurement of compositional differences in hams, loins and bellies from conjugated linoleic acid (CLA)-fed stress-genotype pigs. J. Anim. Sci. 79, 1475-1482.
240. Swatland, H. J. (1994): Structure and development of meat animals and poultry. Technomic Publ. AG., Basel. 610 pp.
241. SYSTAT (1990): Version 5.01. Copyright SYSTAT Inc. IL.
242. Szabó, Cs. (2001): Determination of protein and fat content in growing and fattening pigs by means of computer tomograph, using different lysine to digestible energy ratios in diet. Doctoral (PhD) Dissertation, 116 pp.
243. Szabó, Cs., Babinszky, L., Verstegen, M. W. A., Vangen, O., Jansman, A. J. M., Kanis, E. S. O. (1999): The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: a review. Livest. Prod. Sci. 60, 1-11.
244. Székely, Cs., Molnár, K., Müller, T., Szabó, A., Romvári, R., Hancz, Cs., Bercsényi, M. (2004): Comparative study of X-ray computed tomography and conventional X-ray methods in the diagnosis of eel swimbladder infection caused by Anguillicola crassus. Dis. Aquat. Organ. 58, (2-3) 157-164.
245. Szendrő, Zs., Horn, P., Kövér, Gy., Berényi, E., Radnai, I., Bíró-Németh, E. (1992): In vivo measurement of the carcass traits of meat type rabbits by X-ray computerised tomography. J. Appl. Rabbit Res. 15, 799-809.
246. Szendrő, Zs., Kenessey, Á., Jensen, J.F., Jensen, N.E., Csapó, J., Romvári, R., Milisits, G. (1998): Effect of genotype, age, body weight and sex on the body composition of growing rabbits. World Rabbit Sci. 6, (2) 243
247. Szendrő, Zs., Romvári, R., Horn, P., Radnai, I., Bíró-Németh, E., Milisits, G. (1996): Two-way selection for carcass traits by computerised tomography. 6th World Rabbit Congress, Toulouse, Vol. 2. 371-377.
248. Szendrő, Zs., Romvári, R., Nagy, I., Andrassy-Baka, G., Metzger, Sz., Radnai, I., Bíró-Németh, E., Szabó, A., Vigh, Zs., Horn, P. (2004): Selection of Pannon White Rabbits based on computerised tomography. 8th World Rabbit Congress, Puebla, 175-180.
249. Tang, W. H., Arnett, D. K., Devereux, R. B., Province, M. A., Atwood, L. D., Oberman, A., Hopkins, P. N., Kitzman, D. W. (2002): Sibling resemblance for left ventricular structure, contractility, and diastolic filling. Hypertension 40, 233-238.
250. Tao, Y., Ibarra, J. G. (2000): Thickness-compensated X-ray imaging detection of bone fragments in deboned poultry-model analysis. Transaction of the ASAE 43, 453-459.
251. Tholen, E., Baulain, U., Henning, M. D., Schellander, K. (2003): Comparison of different methods to assess the composition of pig bellies in progeny testing. J. Anim. Sci. 81, (5) 1177-1184.
252. Thomasset, A. (1962): Bio-electrical properties of tissue impedance measurement. Lyon Medical 207, 107-118.

253. Thompson, M. J., Kinghorn, B. (1992): CATMAN - A program to measure CAT-Scans for prediction of body components in live animals. Australian Assoc. of Animal Breeding and Genetics. Proc. of the 10 th Conference, Rockhampton, Australia, 5.
254. Tielscher, H. H. (1987): The pig's heart - a problem of pathophysiology. *Pro Veterinario*, 3, 12.
255. Toldi, Gy. (2002): Az S/EUROP minősítés és a juhok vágóértéke közötti összefüggés. Doktori (PhD) értekezés, 141 pp.
256. Topel, D. G., Bicknell, E. J., Preston, K. S., Christian, L. L., Matsushima, C. Y. (1968): Porcine Stress Syndrome. *Mod. Vet. Pract.* 49, (40) 59-60.
257. Toschi, I., Cesari, V., Rapetti, L., Bava, L., Grill, G., Castrovilli, C. (2004): Energy utilization and partition of nulliparous rabbit does in the last third of pregnancy. 8th World Rabbit Congress, Puebla, 1002-1007.
258. Tóth, J. (1993): Állatorvosi anaesthesiologia. Mezőgazda Kiadó, Budapest
259. Unscrambler (2003): Scientific Software, Belgium
260. Van Loan, M., Mayclin, P. (1987): A new TOBEC instrument and procedure for the assessment of body composition: use of fourier coefficients to predict lean body mass and total body water. *Am. J. Clin. Nutr.* 45, 131-137.
261. Vangen, O. (1984): Evaluation of carcass composition of live pigs based on computed tomography. 35th Annual Meeting of the EAAP, The Hague, Netherlands, 6-9 August, Vol. 1. Summaries. Study Commissions. Genetic, nutrition, management. Paper No. G5. 23, 2.
262. Vangen, O. (1988): Experience from several years of using computerised tomography (CT) in animal breeding research. World Conference on Animal Production, Helsinki, Session 4, Paper 4, 37.
263. Vangen, O. (1992): Assessing body composition of pigs by computer assisted tomography. Review. *Pig News and Information* 13, (4) 1-22.
264. Vangen, O., Standal, N., Walach-Janiak, M. (1984): Tissue deposition rate in genetically lean and fat pigs estimated by computerised tomography (CT). 35th Annual Meeting of the EAAP, The Hague, Netherlands, 6-9 August, Vol. 1. G5. 22, 1.
265. Vangen, O., Thompson J. M. (1992): The use of CAT-scanning to measure maintenance efficiency in genetic lines of sheep. Paper, Commission on Sheep and Goat Production, EAAP., Madrid
266. Vezinhet, A., Prud'hon, M. (1975): Evolution of various adipose deposits in growing rabbits and sheeps. *Anim. Prod.* 20, 363-370.
267. Von Bezold, A. (1857): Untersuchungen über die Verteilung von Wasser, organischer Materia und anorganischen Verbindungen im Thierreiche. *Zeitschrift Wissenschaftl. Zool.* 8, 487-524.
268. White, F. C., Sanders, T. M., Bloor, C. M. (1981): Coronary reserve at maximum heart rate in the exercising swine. *J. Cardiac Rehabil.* (1), 31-40.
269. Whittemore, C. T. (1986): An approach to pig growth modelling. *J. Anim. Sci.* 63, 615-621.
270. Whittemore, C. T., Fawcett, R. H. (1974): Model responses of the growing pig to the dietary intake of energy and protein. *Anim. Prod.* 19, 221-231.
271. Wideman, R. F. Jr. (1999): Cardiac output in four-, five-, and six week old broilers, and hemodynamic responses to intravenous injections of epinephrine. *Poultry Sci.* 78, (3) 392-403.
272. Wiederhold, S., Baulain, U., Kallweit, E., Pingel, H. (1994): In vivo estimation of breast muscle volume in muscovy ducks by means of magnetic resonance imaging (MRI). Proc. 9. Eur. Poultry Conf., Glasgow, 254-256.
273. Wiederhold, S., Baulain, U., Kallweit, E., Pingel, H. (1995): Comparison of breast muscle growth in live muscovies and mulards by means of magnetic resonance imaging (MRI). Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Symp. on the Quality of Poultry Meat, Zaragoza, Spain, 523-528.
274. Xiccato, G. (1996): Nutrition of lactating does. 6th World Rabbit Congress, Toulouse, Vol. 1, 29-47.
275. Xiccato, G., Parigi Bini, R., Cinetto, M., Dalle Zotte, A. (1992): The influence of feeding and protein levels on energy and protein utilisation by rabbit does. 5<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Corvallis, Oregon, Vol. B, 965-972.
276. Xiccato, G., Parigi Bini, R., Dalle Zotte, A., Carazzolo, A., Cossu, M. E. (1995): Effect of dietary energy level, addition of fat and physiological state on performance and energy balance of lactating and pregnant rabbit does. *Anim. Sci.* 61, 387-398.
277. Xiccato, G., Trocino, A., Sartori, A., Queaque, P.I. (2003): Effect of weaning diet and weaning age on growth, body composition and caecal fermentation of young rabbits. *Anim. Sci.* 77. 101-111.
278. Young, M. J., Nsoso, S. J., Beatson, P. R. (1998): Response to selection for lean tissue growth in sheep as assessed by X-ray computer tomography. Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, Australia, January 11-16. Vol. 24. 153-156.
279. Zomborszky Kovács, M., Vetési, F., Repa, I., Kovács, F., Bata, Á., Horn, P., Tóth, Á., Romvári, R. (2000): Experiment to determine limits of tolerance for fumonisin B1 in Weaned Piglets. *J. Vet. Med. B.* 47, 277.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Értekezésem befejezésekor hálás köszönetemet fejezem ki Horn Péter akadémikusnak, aki tizenöt évvel ezelőtt felhívta figyelmemet a komputer tomográfia alkalmazásának állattenyésztési lehetőségeire, majd programvezetőként segítette tudományos fokozatom megszerzését. Személyes támogatása nélkül e disszertáció sem készülhetett volna el.

Kutatómunkámat az Állattudományi Kar Sertés és Kisállattenyésztési-, valamint Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében végeztem, azok vezetőinek és munkatársainak hathatós támogatásával. Köszönöm Szendrő Zsolt professzornak, korábbi témavezetőmnek, a folyamatos és intenzív szakmai együttműködés lehetőségét, valamint biztatását kísérletes munkám folytatására. Köszönettel tartozom Repa Imre professzornak aktív és hatékony támogatásáért a képalkotó vizsgálatok során.

A kutatások anyagi hátterét széleskörű hazai (NKFP, OTKA, OMFB) és nemzetközi pályázati támogatás (Copernicus, EU5) biztosította, az egyetemi források mellett, amiért e helyen is köszönetet mondok.

Külön köszönettel tartozom családomnak mindenkori támogatásukért és megértő szeretetükért.